

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-199387

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月27日

(51) Int.Cl.⁶

C 3 0 B 29/06
15/20

識別記号

5 0 2

F I

C 3 0 B 29/06
15/20

5 0 2 J

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-21410

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月19日

(71) 出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(72) 発明者 山中 秀記

福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平

150 信越半導体株式会社白河工場内

(72) 発明者 桜田 昌弘

福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平

150 信越半導体株式会社白河工場内

(72) 発明者 堀江 信一

福島県西白河郡西郷村大字小田倉字大平

150 信越半導体株式会社白河工場内

(74) 代理人 弁理士 好宮 幹夫

(54) 【発明の名称】 シリコン単結晶の製造方法およびシリコン単結晶ウエーハ

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ウエーハ全域において成長欠陥がなく、しかも酸素析出量のばらつきの少ない、高品質のシリコン単結晶を、共通性と一般性を持った変数である引き上げ速度Pを制御しつつ結晶を引き上げることによって製造する方法とその方法によって製造されるシリコン単結晶を提供する。

【解決手段】 チョクラルスキー法によってシリコン単結晶を育成する際に、結晶引き上げ速度を、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域への遷移が起こる遷移引き上げ速度 P_c と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移引き上げ速度 P_i との間で制御しながら結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法、およびこの方法で得られるシリコン単結晶、シリコン単結晶ウエーハ。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 チョクラスキー法によってシリコン単結晶を育成する際に、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域で結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

【請求項2】 チョクラスキー法によってシリコン単結晶を育成する際に、結晶引き上げ速度を、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域への遷移が起こる遷移引き上げ速度 P_c と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移引き上げ速度 P_i との間で制御しながら結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

【請求項3】 原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も小さい遷移引き上げ速度($P_{c,min}$)と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度($P_{i,max}$)との間で、結晶引き上げ速度を制御しながら結晶を育成することを特徴とする請求項2に記載のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項4】 原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度($P_{c,max}$)と最も小さい遷移引き上げ速度($P_{c,min}$)との差の $P_{c,min}$ に対する割合を0%~7%とすることを特徴とする請求項2または請求項3に記載のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項5】 シリコン融液と結晶との界面直上の結晶成長軸方向温度勾配 G の半径方向での最大値 G_{max} と最小値 G_{min} との差の G_{min} に対する割合を20%以下とすることを特徴とする請求項2ないし請求項4のいずれか1項に記載のシリコン単結晶の製造方法。

【請求項6】 請求項2ないし請求項5のいずれか1項に記載のシリコン単結晶の製造方法において、前記 P_c と P_i および $P_{c,max}$ と $P_{c,min}$ ならびに $P_{i,max}$ を、予め行なう単結晶の引き上げ中に引き上げ速度を漸次減少させながら結晶を育成し、育成された単結晶棒から、結晶中心軸を通り結晶成長軸方向に平行に縦切りされた試料を切り出し、表面加工歪みを除去するためにエッチング処理を施し、これに酸素析出熱処理を行なって、試料内の欠陥の分布を求めるか、少数キャリアのライフタイムの測定を行い、試料内のライフタイムの分布を求めることにより決定することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法。

【請求項7】 請求項1ないし請求項6に記載した製造方法によって製造されたシリコン単結晶。

【請求項8】 請求項1ないし請求項6に記載した製造方法によって製造されたシリコン単結晶から得られるシリコン単結晶ウエーハ。

【請求項9】 チョクラスキー法によって育成されるシリコン単結晶ウエーハであって、ウエーハ全域において格子間シリコン原子を過剰に含有し、過剰な原子空孔に起因する異常酸素析出領域を含まず、原子空孔の凝集体である成長欠陥および格子間シリコン原子の凝集体、ならびに熱酸化処理を施した際に形成される酸化誘起積層欠陥の核となる結晶欠陥を含有しないシリコン単結晶ウエーハ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路素子等の製造に用いられるシリコン単結晶の製造方法およびシリコン単結晶ウエーハに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路素子の基板として用いられるシリコン単結晶ウエーハは、主にチョクラスキー法(CZ法)によって製造されている。CZ法とは、石英ルツボ内で1420℃以上の高温で溶融されたシリコン融液にシリコン単結晶の種結晶を浸漬させ、石英ルツボと種結晶を回転させながら徐々に種結晶を引き上げることによって、円柱状のシリコン単結晶を育成する方法である。一般に育成する結晶の直径が大きくなるほど、融液が固化する際に放出される固化潜熱が大きくなるために、引き上げ速度を小さくする必要がある。たとえば、直径200mmの結晶の引き上げ速度は、一般には0.40~1.5 mm/minである。このようにして製造されるシリコン単結晶から作製されるウエーハに1000℃以上の高温熱酸化処理を施すと、ウエーハにリング状にOSFと呼ばれる酸化誘起積層欠陥(以下、リングOSFと略記する)が形成されることがある。

【0003】しかし、比較的高い引き上げ速度で製造されたシリコン単結晶ウエーハでは、リングOSFがウエーハの外側に抜けたか、あるいはウエーハ最外周に存在することとなり、ウエーハ内部には、シリコン原子の抜けた格子点である原子空孔が固液界面で過剰に取り込まれ、結晶冷却中に凝集して観察可能な欠陥に成長する。これを成長欠陥という。布施川等(特開平4-192345号)が、欠陥を選択的に腐食するセコエッチング液によって、この成長欠陥がはじめて観察可能であることを示した。これをFPD(Flow Pattern Defect)と呼んでいる。その後、別の方法による検出が検討され、COP(Crystal Originated Particle)、LSTD(Laser Scattering Tomograph Defect)と呼ばれる欠陥も登場したが、最近の研究ではこれらは同一の実体であることが明らかとなった。すなわち、原子空孔が凝集した正八面体の空洞

(Void,あるいはNegative crystalと呼ばれることもある)であることが電子顕微鏡観察によって解析された。

【0004】この成長欠陥の大きさは大きなもので0.2 μm であり、デバイスの集積度が小さく、デザインルールが1 μm 以上の時代には、デバイスの歩留まりにほとんど影響しなかったが、それが1 μm 以下になるとデバイスへ悪影響を及ぼすことが明らかとなった。成長欠陥がデバイス活性層の中やその近くに存在すると、接合リーク不良を起こす。ウエーハ表面に存在すると酸化膜耐圧不良や接合リーク不良を起こす。今後、デバイスの集積度はさらに大きくなるため、この成長欠陥の密度と大きさの低減、あるいは消滅、さらには形成させないことが必要である。

【0005】この原子空孔起因の成長欠陥を形成させない試みとして、ウエーハ外周にあるリングOSFをウエーハ(結晶)中央部に収縮させた、いわゆる低速引き上げ結晶の開発と試作が1990年頃におこなわれた。結晶製造メーカーでは、経験的な知見として、引き上げ速度を小さくするほどリングOSFのリング径が小さくなり、ある引き上げ速度以下にすると結晶中央部で収縮することが周知であった。しかし、表面に形成されるOSFが最も大きくなるため、表面に形成されるデバイスに悪影響を及ぼすということと、低速引き上げ化による結晶の生産性低下という問題のために、引き上げ速度を低速化することによるウエーハの製造は回避されていた。

【0006】このような状況の中で、引き上げ速度を小さくするとリングOSFが結晶中央部に収縮消滅することを篠山等が文献として公表した(応用物理60号, p. 766, 1991年)。また、日月等は、リングOSFが存在するウエーハの内側で酸化膜耐圧不良が起こるが、その外側では不良が起こらないことを発表した(応用物理学会結晶工学分科会、第7回結晶工学シンポジウム, p. 27, 1990年)。この発表をきっかけとして、低速引き上げ結晶の開発、試作が行われるようになった。その結果として、フォン・アモン(W.V. Armon)等は、リングOSFが結晶中央部に収縮する引き上げ速度 $P_{crit}(\text{mm/min})$ は、成長軸方向の結晶側中心温度勾配 $G(^{\circ}\text{C/mm})$ に比例し、 $P_{crit}/G = 0.13 \text{ mm}^2 / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$ で与えられることを実験的に求め公表した(特開平7-257991, またはJournal of Crystal Growth vol.151, p.273-277, 1995)。

これは、ボロコフが提唱した理論、すなわち、過剰な点欠陥の種類と濃度は P/G で決まるという理論(V. V. Voronkov: Journal of Crystal Growth, vol. 59, p. 625, 1982)を実験的に示した最初の仕事である。

【0007】しかし、リングOSFの外側、あるいはリングOSFの収縮消滅したウエーハ(これはリングOSFの外側が全面に広がったウエーハと同じなので、以下、リングOSFの外側と総称する)には、原子空孔起因の成長欠陥であるFPDとは、大きさと形状が全く異なる選択エッチングビットが観察されることを、結晶製造メーカーで

は承知していた。酸化膜耐圧には影響しないということで、初期のうちは問題とはしなかったが、デバイス歩留まりでリークに起因した不良が発生することが明らかとなり、この大きな選択エッチングビット(ここでは、Large Etch Pitと呼び、LEPと略記する; 格子間型転位ループ、転位クラスター、ラージディスクレーションと呼ばれることもある。)のもととなる結晶欠陥(以下、その結晶欠陥もLEPと略記する。)も存在しないウエーハが必要となった。

10 【0008】このようにリングOSFの領域を境として、全く異種の結晶欠陥が形成されることが明らかとなった。現在では、上述したようにリングOSFの内側の成長欠陥であるFPDは原子空孔の凝集した空洞であることが明らかとなっているが、その外側に低密度に存在するLEPについての実体はまだ説明されていない。フローティングゾーン法(FZ法)における結晶欠陥の研究結果との対比から、LEPは格子間シリコン原子の凝集体で、転位ループとそのクラスターであろうと予測されている。これも結晶冷却中に形成されることから成長欠陥である。

20 【0009】このような経緯により、FPDとLEPおよびリングOSFも存在しないウエーハの開発が結晶製造メーカーでは、重要かつ必須の課題となった。

【0010】一方、宝来等から、FPDとLEPおよびリングOSFの存在しないウエーハの可能性を示唆するデータが公表された(M. Hourai et al.: Progress in Semiconductor Fabrication, SEMICON/Europe, 1993 Technical Conference, Geneva, March/April, 1993)。そのデータを図1に示す。これはウエーハ表面より銅を熱拡散させ結晶欠陥に装飾させて、X線トポグラフ撮影をおこなったウエーハの約4分の1のスケッチ図である。リングOSF領域とLEP(転位ループおよびそのクラスター)領域との間に結晶欠陥の存在しない領域があることがわかる。すなわち、リングOSFの外側にFPDもLEP(転位クラスター)もない領域を形成して、結晶育成条件によってさらにその領域を拡大できることを示唆した。

【0011】その後、宝来等によって、チョクラルスキー法により育成されたシリコン単結晶ウエーハであって、熱酸化処理をした際にリング状に発生する酸化誘起積層欠陥(リングOSF)がウエーハ中央部で消滅した低速育成ウエーハであり、かつウエーハ全面から転位クラスターが排除されていることを特徴とするシリコン単結晶ウエーハが発明された(特開平8-330316号)。さらに、このようなウエーハは、引き上げ速度を $P(\text{mm/min})$ とし、シリコンの融点から1300 $^{\circ}\text{C}$ までの引き上げ軸方向の温度勾配の平均値を $G(^{\circ}\text{C/mm})$ とするとときに、 P/G の値を0.20~0.22 $\text{mm}^2 / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$ に制御することによって実現できることを提案した。

【0012】その中で、 P/G が0.22 $\text{mm}^2 / ^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}$ となるとときにリングOSFが結晶中央部に収縮するとしてい

る。これは先述のフォン・アモン等の値と比べると1.7倍大きい。また、中村等の発表では、 $P_{crit}/G = 0.15 \text{ mm}^2 / ^\circ\text{C} \cdot \text{min}$ である（日本結晶成長学会誌、Vol.24, No.4, P22, 1997）。このように、 P_{crit}/G の値は、発表機関によって大きく異なる。

【0013】宝来等の提案したウエーハが実現できるかどうかは明らかでないが、上で述べたように1993年に公表された写真（図1参照）を見ると、実際にリングOSFの外側に転位クラスターもFPDもない領域があることは事実である。

【0014】以上の内容は、原子空孔と格子間シリコン原子に起因する成長欠陥の低減と消去についての最近の技術状況であるが、CZ法によるシリコン単結晶において従来よりデバイスに重要な影響を与える結晶欠陥は酸素析出物であり、その制御技術はデバイスプロセスにおいて重要な技術である。近年、デバイス熱プロセスが低温化しており、その酸素析出物の密度の制御はより重要になっている。

【0015】CZ法では石英ルツボが使用されるため、酸素は石英ルツボからシリコン融液に溶け込み、結晶中に取り込まれる。そして、結晶冷却中に過飽和となり、酸素の凝集が起こる。凝集は650℃と500℃付近で最も促進する。したがって、この酸素析出物の核形成は結晶冷却中の低温の熱履歴を受けて起こるため、結晶の上部と下部では酸素析出核の密度が大きく異なる。もちろんのこと、酸素析出核密度は、結晶中に取り込まれる過飽和酸素濃度に依存し、その濃度が高いほど増加する。したがって、ウエーハメーカーでは、過飽和酸素濃度の精密制御が要求されている。

【0016】結晶製造中に形成された酸素析出核は、その後のデバイス熱プロセス中に過飽和酸素がそれらの核に析出してより大きな酸素析出物へと成長する。酸素析出物は、デバイス製造プロセス中に装置等の外部から汚染する重金属をゲッターリングする重要な役目をもつ。一方で、析出物が高密度に形成されると、デバイス活性層中あるいはその近傍にまで存在し、接合リーク不良の原因となる。従来の熱プロセスでは1200℃という高温処理が全熱処理工程の比較的初期の段階にあり、結晶製造中に形成された酸素析出核のかなりの量が再溶解しており、ウエーハに潜在的に含まれていた酸素析出核の密度のウエーハ間、換言すれば結晶間あるいは結晶位置間の差は消去されていた。しかし、最近では初期の熱処理が低温化され、1000～1050℃となっており、結晶製造中に形成された酸素析出核は溶解されることなく、そのまま成長するプロセスとなっている。このため結晶製造中の酸素析出核の密度の制御が、従来以上に重要視されている。したがって、結晶製造中に起こるウエーハ間の酸素析出核の密度のばらつきを抑制する方法の発明が必要である。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】前述のように、引き上げ速度を小さくしていくとリングOSFの径が小さくなり、ある引き上げ速度で結晶中央部で収縮消滅することは、結晶製造メーカーで結晶製造に携わる人々の中では周知の事実である。また、リングOSFの内側には、原子空孔の凝集体である空洞が成長欠陥として形成されることも事実である。また、宝来等が公表したように、リングOSFの外側は格子間シリコン原子の凝集体であるLEP（転位ループとそのクラスター）が形成されることも公知である。また、宝来等は、リングOSF周縁部とその外側のLEP領域との間に成長欠陥FPDの存在しない領域があるという知見を発展させて、それをウエーハ全域に広げることを提案した。

【0018】宝来等の発明では、無欠陥の領域をウエーハ全面、あるいは結晶全長に広げる方法については、 P/G の範囲で規定しているが、 G の値は実際の結晶成長時の値ではなく総合伝熱解析シミュレーションによるものであるため、結晶製造メーカーの間で一般性をもった値とはならない。上述したように、リングOSFが結晶中央部に収縮する P_{crit}/G の値が機関によって違う値になることが、そのことを裏付けていると言える。 G の値は、各機関で開発したシミュレーションソフトを用いるか、あるいは市販のシミュレーションソフト（たとえば、FEMAGと呼ばれるソフト：F. Dupret et al; Journal of Heat Transfer, vol. 33, p. 1849, 1990）を用いるかによって異なる。さらには、有限要素メッシュの作成の仕方、境界条件ならびに勾配の定義の仕方によっても G は異なる値となってしまう。

【0019】したがって、 P/G の値は一般性および共通性をもたせて制御する変数としては適切ではない。一般に、 G の値は結晶成長中に制御する変数ではなく、設計した炉内保温構造に対して与えられるパラメータであり、これを結晶引き上げ中に変更制御することはきわめて難しい。また、その絶対値についても、共通性、一般性がないため、シミュレーションで求める G の値については、各機関内で相対値として用いるべきである。これに対して引き上げ速度はどこでも共通の変数であり、実際に制御しているものであるから、変数として適切である。

【0020】一方、過剰な点欠陥の種類とその量は P/G で決まるという、ボロンコフの理論を完全に否定する理論、あるいは実験事実はまだない。しかし、点欠陥の種類の遷移が起こる臨界値を具体的な数値として与える理論ではないうえに、点欠陥の凝集体である成長欠陥の形成が起こる P/G の数値を与える理論でもない。また、たとえ、遷移点が P/G の値だけで決まるという実験結果が得られたとしても、いかなる炉内保温構造に対しても同じ P/G で遷移するということを実証することはきわめて困難である。なぜならば、 G の値が、解析機関によって異なるから、共通性、一般性がないからである。

【0021】このような状況からすると、成長欠陥の形成領域と無欠陥領域の境界をP/Gではなく、実際の制御変数である引き上げ速度Pによって決定する一般的な方法を見出すことができれば、実際の結晶製造ではきわめて有効であり、一般的な方法であるがゆえに、各機関間の共通性もあり、簡単かつ実用性のきわめて高い方法となる。

【0022】一方、上述したように、宝来等はリングOSF周縁部とその外側のLEP領域との間に成長欠陥FPDの存在しない領域があるという知見を進展させて、それをウエーハ全域に広げることがを提案した。しかし、この領域についての酸素析出挙動については、明らかにされていない。

【0023】過剰な点欠陥の遷移点が、この無欠陥領域の中にあれば、この無欠陥領域の中に原子空孔が過剰な領域が存在することになり、酸素析出量が異常に高くなる可能性があることになる。なぜなら、酸素析出量は過剰な原子空孔と過剰な格子間シリコン原子濃度に依存するからである。次の式で示されるように、酸素析出物（たとえば、 SiO_2 ）は原子空孔濃度が過剰になると促進され、一方、格子間シリコン原子濃度が過剰になると抑制される。

$$2x\text{O}_i + y\text{Si} + z\text{V} \rightleftharpoons x\text{SiO}_2 + (y - z - x)\text{I}$$

ここで、 O_i は格子間酸素原子、 Si はシリコン格子原子、 V は原子空孔、 I は格子間シリコン原子を表し、 x 、 y 、 z は濃度を表す。

【0024】このことは定性的に次のように説明できる。シリコン母結晶のなかで、酸素析出物が形成されると、その体積が約2.25倍に膨張する。これによって発生する格子歪みを緩和するために格子間シリコン原子が放出される。原子空孔が過剰であると、放出される格子間シリコン原子を吸収することができるために、酸素の析出は促進する。格子間シリコン原子が過剰であれば、放出される格子間シリコン原子の吸収が起こらないために酸素析出は抑制されるのである。

【0025】酸素析出が促進する領域と抑制される領域とでは、酸素析出量のばらつきに差が生じる可能性がある。換言すれば、熱履歴の影響を受けやすいか、受け難いかの差が生じると予測される。デバイスプロセスの設計を行う立場からすれば、ウエーハ毎に酸素析出物の密度が異なることは最も避けたいことの一つである。酸素析出物の密度がウエーハ間でばらつかないことが必要である。

【0026】本発明は、上記のような問題点に鑑みなされたもので、ウエーハ全域において成長欠陥がなく、しかも酸素析出量のばらつきの少ない、高品質のシリコン単結晶を、共通性と一般性を持った変数である引き上げ速度Pを変数として、過剰な点欠陥領域の遷移点およびリングOSFならびに成長欠陥の形成領域の遷移点を明確にすることによって最適領域を見出し、その領域に対応

する引き上げ速度の範囲内で引き上げ速度を制御しつつ結晶を引き上げることによって製造するという方法とこの方法によって製造されるシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウエーハを提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の請求項1に記載した発明は、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶を育成する際に、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域で結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法である。

【0028】このように、シリコン単結晶を育成する際に、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域のみで結晶を育成するようにすれば、シリコン単結晶の全域において格子間シリコン原子を過剰に含有するが、過剰な原子空孔に起因する異常酸素析出領域を含まず、原子空孔の凝集体である成長欠陥および格子間シリコン原子の凝集体、ならびに熱酸化処理を施した際に形成される酸化誘起積層欠陥の核となる結晶欠陥を含有しないシリコン単結晶を製造することができる。

【0029】また、本発明の請求項2に記載した発明は、チョクラルスキー法によってシリコン単結晶を育成する際に、結晶引き上げ速度を、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域への遷移が起こる遷移引き上げ速度 P_c と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移引き上げ速度 P_i との間で制御しながら結晶を育成することを特徴とするシリコン単結晶の製造方法である。

【0030】請求項1のように、シリコン単結晶を育成する際に、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域のみで結晶を育成するには、結晶軸方向の温度勾配その他の因子を制御するようにしてもよいが、請求項2のように結晶引き上げ速度を制御することによって、該品質のシリコン単結晶を育成するようにすれば、簡単かつ確実に所望品質のシリコン単結晶を得ることが出来るし、不確かなシミュレーション解析等も必要ない。

【0031】この場合、請求項3に記載したように、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も小さい遷移引き上げ速度（ $P_{c.min}$ ）と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度（ $P_{i.max}$ ）との間で、結晶引き上げ速度を制御しながら結晶を育成するようにする必要がある。

【0032】通常、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点は、結晶の径方向によって変化することが多く、このような場合には、上記 $P_{c,min}$ と、 $P_{i,max}$ との間で結晶引き上げ速度を制御しながら結晶を育成しなければ、ウェーハにした場合に全面を所望無欠陥領域とすることが出来ない。

【0033】そして、請求項4に記載したように、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度($P_{c,max}$)と最も小さい遷移引き上げ速度($P_{c,min}$)との差の $P_{c,min}$ に対する割合を0%~7%とするようにし、また、請求項5に記載したように、シリコン融液と結晶との界面直上の結晶成長軸方向温度勾配 G の半径方向での最大値 G_{max} と最小値 G_{min} との差の G_{min} に対する割合を20%以下とするようにする。

【0034】このように、遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、上記 $P_{c,max}$ および $P_{c,min}$ の条件、あるいは G_{max} と G_{min} との条件とすることによって、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域のみの所望品質の結晶を引き上げるための引き上げ速度の制御が可能となる。

【0035】そして、本発明において、具体的な P_c と P_i および $P_{c,max}$ と $P_{c,min}$ ならびに $P_{i,max}$ の値は、請求項6に記載したように、予め行なう単結晶の引き上げ中に引き上げ速度を漸次減少させながら結晶を育成し、育成された単結晶棒から、結晶中心軸を通り結晶成長軸方向に平行に縦切りされた試料を切り出し、表面加工歪みを除去するためにエッチング処理を施し、これに酸素析出熱処理を行なって、試料内の欠陥の分布を求めるか、少数キャリアのライフタイムの測定を行い、試料内のライフタイムの分布を求めることにより決定するようにする。

【0036】このような方法によれば、原則としてどのような炉内保温構造の引き上げ機においても、 P_c と P_i および $P_{c,max}$ と $P_{c,min}$ ならびに $P_{i,max}$ を、簡単かつ正確に決定することができる。しかも、複雑な計算や不確定要素、不正確な前提に基づくシミュレーション等は一切必要なく、得られた値に従って引き上げ速度を制御して結晶を育成すれば、確実に所望品質の結晶を得ることが出来る。

【0037】したがって、本発明の方法によって、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域のみの品質を有するシリコン単結晶(請求項7)を効率よく得ることができ、このシリコン単結晶から得られるシリコン単結晶ウェーハ(請求項8)は、請求項9のように、ウェーハ全域において格子間シリコン原子を過剰に含有し、過剰な原子空孔に起因する異常酸素析出領域を含まず、原子空孔の凝集体である成長欠陥および格

子間シリコン原子の凝集体、ならびに熱酸化処理を施した際に形成される酸化誘起積層欠陥の核となる結晶欠陥を含有しないシリコン単結晶ウェーハとなる。

【0038】以下、本発明につき更に詳細に説明する。本発明では、まず結晶引き上げ速度に対する点欠陥の種類の遷移点および成長欠陥領域の遷移点ならびにリングOSF領域の遷移点を次のようにして決める。すなわち、結晶引き上げ中に単位長さあたりの引き上げ速度の変化量 γ (mm/min/cm)を一定にして引き上げ速度を漸次減少させながら結晶を育成し、結晶中心軸を通り、結晶成長軸方向に平行に縦切りされた試料を作製する。この試料を、切断時に導入される加工歪みを除去するために、フッ酸(HF)と硝酸(HNO₃)からなる混酸溶液に浸漬する。次に、試料に酸素析出熱処理を施し、X線トポグラフィ法による解析を行い、試料内の欠陥の分布を調べるか、あるいは、少数キャリアのライフタイム法による測定を行い、試料内のライフタイムの分布を調べることで、各遷移点を分布図より決定することができる。

【0039】上記の方法においては、単位長さあたりの引き上げ速度の変化量を一定にして引き上げ速度を漸次減少させたが、その変化量を一定にすることは必ずしも必要な要件ではない。しかし、変化量を一定とした方が、各条件で育成される結晶を相対的に評価するには都合がよい。

【0040】こうして求めた欠陥分布図の一例を図2に示す。領域Aは成長欠陥FPDの形成される領域である。これは、上述の試料で酸素析出熱処理を施されていない試料にセコエッチングを施し、表面を観察することによって確認できる。領域BはリングOSFが形成される領域である。領域Cは成長欠陥のFPDとLEPが観察されない領域で無欠陥領域であるが、酸素析出が起こる領域である。領域Dも成長欠陥のFPDとLEPが観察されない領域で無欠陥領域であるが、酸素析出がほとんど起こらない領域である(本発明の所望品質領域)。領域EはLEPが形成し始める領域であり、わずかに酸素析出が起こっている。領域Fは成長欠陥のLEPが観察される領域であり、酸素析出がほとんど起こらない領域である。

【0041】X線トポグラフィ像のコントラストの強弱と少数キャリアのライフタイムの大小を各領域で比較することによって、酸素析出量の大小を比較すると、大きい順に、領域C、領域A、領域E、領域B、領域DとFとなる。前述したように、格子間シリコン原子が過剰になると酸素析出は抑制されることから、酸素析出が抑制された領域DとEとFが格子間シリコン原子が過剰な領域であると判定できる。したがって、無欠陥領域の中に格子間シリコン原子過剰領域と原子空孔過剰領域があり、その境界を酸素析出量の差あるいは少数キャリアのライフタイムの測定から判定できる。本発明の製造方法では、まずこうして欠陥分布図を求め、各引き上げ速度因子を知るようにする。

【0042】次に、本発明のシリコン単結晶の製造方法およびこれから得られるシリコン単結晶、シリコン単結晶ウェーハについて詳述する。図2に示された無欠陥領域の領域Cと領域Dに相当する引き上げ速度にて作製された数多くの試料について、酸素析出量を調べると図3のようになる。白丸で示された領域Cの酸素析出は、析出量が多いとともにばらつきも大きい。黒丸で示された領域Dの酸素析出は、抑制され析出量が少ないとともに、ばらつきも小さく、初期酸素濃度だけでほぼ析出量が決まるという理想的な挙動を示している。

【0043】したがって、本発明では、この領域Dの範囲内で結晶を引き上げれば、所望品質のシリコン単結晶、シリコン単結晶ウェーハを得ることができることになる。すなわち、チョクラスキー法によって育成されるシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウェーハであり、全域において格子間シリコン原子を過剰に含有し、過剰な原子空孔に起因する異常酸素析出領域を含まず、原子空孔の凝集体である成長欠陥および格子間シリコン原子の凝集体、ならびに熱酸化処理を施した際に形成される酸化誘起積層欠陥の核となる結晶欠陥を含有しないシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウェーハが実現される。

【0044】これを、引き上げ速度で言うと、図2において、領域Cと領域Dとの境界で、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域、すなわち、異常酸素析出領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域への遷移が起こり、そのときの引き上げ速度を P_c とする。領域Dと領域Eとの境界で、格子間シリコン原子過剰であるが凝集体の存在しない領域から、格子間シリコン原子の凝集体の存在する領域への遷移が起こり、そのときの引き上げ速度を P_i とする。

【0045】すると、本発明のD領域のみの所望品質を持った、シリコン単結晶およびシリコン単結晶ウェーハは、結晶引き上げ速度を、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域、すなわち異常酸素析出領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域への遷移が起こる遷移引き上げ速度 P_c と格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移引き上げ速度 P_i との間で制御しながら育成するという方法によって製造できる。

【0046】このような操作を各炉内保温構造で行なえば、原則として、どのような引き上げ装置、炉内構造においても、 P_c 、 P_i を見出し、これらの範囲内に引き上げ速度を制御して結晶成長を行なうと、本発明品質のシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウェーハを得ることができる。しかも、引き上げ速度の制御であるから、通常の引き上げ装置で行なわれているものを用いれば良く、本発明の実施に当って特別な装置を用いる必要は必ずしもない。

【0047】ただし、図2のようになるのは、炉内保温構造が最適化された場合であるが、現実には遷移引き上げ速度 P_c および P_i は結晶の径方向で変化する場合が多い。このように遷移引き上げ速度が結晶の径方向で変化するもののうち、異なる典型例を示したのが図4(a)(b)(c)である。これらは3種類の異なる炉内保温構造を有し、それぞれ上述した方法により、結晶半径を x 軸とし、引き上げ速度を y 軸として結晶欠陥の分布図を求めたものである。

10 【0048】これらの炉内の保温構造の相対的相違を表す指標として、FEMAG シミュレーションソフトによって求めた、シリコン融液と結晶との界面直上の結晶成長軸方向温度勾配 G を用いる。その結晶表面(周辺部)の値(G_s)と結晶中心の値(G_c)の差 ΔG の結晶中心の値と結晶表面の値の小さい方の値に対する比を η とすると、それぞれその値が大きく異なることがわかった。

20 【0049】すなわち、図4(a)は、結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりも大きい場合で、 $\eta = 0.357$ である。図4(b)は、結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりもわずかに大きい場合で、 $\eta = 0.091$ である。図4(c)は、結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりも小さい場合で、 $\eta = -0.362$ である。

30 【0050】これを見ると、図4(a)の場合には、結晶半径方向の全域にわたって、領域Dの中に入る引き上げ速度はない。図4(b)に示した場合、すなわち、 η が正で小の場合に図2の理想分布に近くなる。図4(c)の場合には、(a)と同様に、結晶半径方向の全域にわたって、領域Dの中に入る引き上げ速度はない。

40 【0051】このように、原子空孔過剰であるが成長欠陥のない領域から格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域への遷移点が結晶の径方向によって変化する場合には、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も小さい遷移引き上げ速度($P_{c.min}$)と、格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域から格子間シリコン原子の凝集体が存在する領域への遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度($P_{i.max}$)との間で制御しながら結晶を育成するようにする必要がある。

【0052】そして、図4(b)に示した例に比較的近い η の値を与える炉内保温構造について、数多く調べたところ、結晶半径方向の全域にわたって、領域Dの中に入る引き上げ速度が存在するためには、その遷移点に対応する遷移引き上げ速度の中で最も大きい遷移引き上げ速度($P_{c.max}$)と最も小さい遷移引き上げ速度($P_{c.min}$)との差の $P_{c.min}$ に対する割合を0%~7%とすることが必要であることが判明した。

50 【0053】また、結晶半径方向の全域にわたって、領域Dの中に入る引き上げ速度が存在する条件を、結晶成

長軸方向温度勾配の条件で言うと、シリコン融液と結晶との界面直上の結晶成長軸方向温度勾配の半径方向での最大値 G_{max} と最小値 G_{min} との差の G_{min} に対する割合を20%以下とすることが必要であることが判明した。

【0054】すなわち、図5は、いろいろな炉内保温構造において、引き上げ速度を一定の変化量で漸次減少させて結晶を育成し、領域Dを実現する引き上げ速度範囲 $\Delta P = P_{c,min} - P_{i,max}$ と η との関係を調べた結果を表す図である。この図を見ると、 η が正であるか負であるかを問わず、20%以下でなければ、 ΔP が0になってしまうことがわかる。

【0055】そして、結晶成長中、結晶全長にわたって、引き上げ速度 P を P_c と P_i の間、あるいは $P_{c,min}$ と $P_{i,max}$ の間で制御しつつ引き上げれば、1本の単結晶棒の全部が本発明の格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体の存在しない領域のみの結晶とすることができる。

【0056】こうして得られる、本発明のシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウエーハは、全域において格子間シリコン原子が過剰に含有されているために、過剰な原子空孔に起因する異常酸素析出が起こらず、熱処理による酸素析出量が初期酸素濃度だけによって決まる酸素析出挙動を示す。したがって、初期酸素濃度を規定することによって、デバイスプロセスの熱処理工程で形成される酸素析出量を定めることができるために、酸素析出量のばらつきを低減することができる。また、過度に酸素析出が起こるウエーハを含んでいないために、デバイス熱プロセスの設計が容易になる。

【0057】これに加えて、原子空孔の凝集体であるFPDや格子間シリコン原子の凝集体であるLEP（転位ループおよびそのクラスターと考えられている）の成長欠陥と酸化誘起積層欠陥の核を含まないために、デバイスの接合リーク不良および酸化膜の耐圧不良が低減される。当然、酸素析出量が制御し易いために、過度の酸素析出を排除でき、酸素析出物起因の接合リーク不良と酸化膜耐圧不良も低減することができる。

【0058】ところで近年、表層近傍の酸素析出物を溶解するために、水素雰囲気中高温熱処理が施されることがあるが、高温であるためにウエーハに臨界せん断応力以上の熱応力がかかりスリップという転位が形成されたり、熱処理炉内の部材からの金属汚染が起こり、歩留まりが低く生産性に問題がある。また水素雰囲気中高温熱処理によっては、表面から数ミクロンの深さまでの成長欠陥FPD（COPともいう）が消滅するだけである。しかも、成長欠陥LEPは、この水素熱処理では表層においても消滅しない。したがって、本発明のウエーハは、このような水素雰囲気中高温熱処理を施したウエーハよりも高品質である。

【0059】一方、本発明では、育成された結晶中の酸素析出核が比較的少なく、その後の熱処理による酸素析

出も抑制されるために、酸素析出物を利用するイントリンシックゲッターリング法には不適切と考えるかもしれない。しかし、一般にウエーハ作製工程では、結晶冷却中に形成される酸素ドナーを消去するために650℃等の低温によって熱処理が施されることは良く知られており、このときの時間を調整することによって、デバイス熱プロセス中に必要な酸素析出量を調整することができるために全く問題とはならないし、近年のデバイスプロセスはよりクリーン化しており必要酸素析出量も減少している。しかも、650℃の熱処理時間を決定する際に、本発明のウエーハならば酸素析出量のばらつきが小さいために、初期酸素濃度さえ測定しておけば、一義的に熱処理時間を設定できるという効果もある。

【0060】本発明のシリコン単結晶の製造方法では、解析機関によって異なる値を与える温度勾配 G を用いなくとも済むために、共通性と一般性がある。すなわち、引き上げ速度を漸次減少させて結晶を育成して、結晶半径方向位置と引き上げ速度に対する欠陥分布を調べ、 P_c 、 P_i 、 $P_{c,max}$ 、 $P_{c,min}$ 、 $P_{i,max}$ 、 $P_{i,min}$ などを求めれば、これを単純に相対比較することができる。全く新しく設計される、引き上げ装置、炉内保温構造に対しても、同様に引き上げ速度を漸次減少させて結晶を育成して、結晶半径方向位置と引き上げ速度に対する欠陥分布を調べ、 $\Delta P = P_{c,min} - P_{i,max}$ の大小によって本発明のシリコン単結晶の製造へのその装置、炉内保温構造の適合、不適合を判定できる。また、図5に示したように、 $\Delta P = P_{c,min} - P_{i,max}$ と $\eta = (G_s - G_c) / \min\{G_s, G_c\}$ との関係から、 ΔP を大きくするためには、 G_c あるいは G_s を大きくするべきか小さくするべきかが判定でき、より理想的な引き上げ装置、炉内保温構造を設計することが容易になる。

【0061】一般に、結晶の成長とともに、引き上げ速度 P を P_c と P_i 、あるいは、 $P_{c,min}$ と $P_{i,max}$ の間で、一定にするか、あるいは徐々に小さくすることによって、結晶全長にわたって本発明のシリコン単結晶を製造することができる。これは、結晶の成長とともに、より結晶が冷えにくくなるために、成長軸方向界面直上温度勾配 G が一定になるか、相対的に小さくなることから、前述のポロンコフ提唱理論の中のパラメーター P/G がほぼ一定になることと関係していると考えられる。すなわち、温度勾配 G は結晶成長とともに一定であるか、小さくなるため、引き上げ速度 P も結晶成長とともに、一定にするか、徐々に小さくする必要があるものと考えられる。

【0062】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、実施例を挙げて説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0063】

【実施例】以下に本発明の実施例を説明する。まず、本実施例で使用したCZ法による単結晶引き上げ装置の構

成例を図6により説明する。図6に示すように、この単結晶引き上げ装置30は、引き上げ室31と、引き上げ室31中に設けられたルツボ32と、ルツボ32の周囲に配置されたヒータ34と、ルツボ32を回転させるルツボ保持軸33及びその回転機構（図示せず）と、シリコンの種結晶5を保持するシードチャック6と、シードチャック6を引き上げるケーブル7と、ケーブル7を回転又は巻き取る巻取機構（図示せず）を備えて構成されている。ルツボ32は、その内側のシリコン融液（湯）2を収容する側には石英ルツボが設けられ、その外側には黒鉛ルツボが設けられている。また、ヒータ34の外側周囲には断熱材35が配置されている。

【0064】また、本発明の製造方法に関わる製造条件を充足するために、結晶の固液界面の外周に環状の固液界面断熱材8を、整流筒9の下端部に設けている。この固液界面断熱材8は、その下端とシリコン融液2の湯面3との間に3～10cmの隙間10を設けて設置されている。また、引き上げ室31の水平方向外側には、シリコン融液に磁場を印加して対流を抑制する、磁石36が配置されている。

【0065】上記図6のような装置を用い、直径2.2インチの石英ルツボにシリコン多結晶原料を110kg充填し、石英ルツボの外側に設置されたグラファイト製ヒータに通電して、シリコン原料を溶融した。結晶への輻射熱遮蔽用とガス整流用に、シリコン融液上方に設置された固液界面断熱材8の下端とシリコン融液2の湯面3との距離を5cmに設定した。

【0066】そして、シリコン単結晶の種結晶5の先端をシリコン融液に浸漬し、なじませた後、種結晶を徐々に引き上げ、種結晶に連なりネック部と呼ばれる部位を作製し、次いで直径を徐々に広げ所望の直径になった時点で、直径の増大を止め、一定の直径で成長させた。このときの所望の直径は200mmとした。

【0067】所定の直胴長さになった時点で、引き上げ速度を0.7mm/minから、単位長さあたりの引き上げ速度の変化量 γ を0.005mm/min/cmとして、徐々に引き上げ速度Pを下げた。結晶育成中は、融液と固液界面断熱材8との間隔を一定に保つように石英ルツボを徐々に押し上げた。また、融液対流による温度変動を抑え引き上げ速度の変動を抑制するために、育成中は4000Gの水平磁場を印加した。このときの炉内保温構造について、FEMAGによる伝熱解析より求めた融液直上成長軸方向の温度勾配は、結晶表面で最も大きく、結晶中心で最も小さく、 $\eta = (G_s - G_c) / \min \{G_s, G_c\}$ の値は0.093であった。

【0068】結晶育成後、結晶成長軸と平行に直径位置で、厚さ2mmの試料を2枚切り出した。この試料を、フッ酸（HF）と硝酸（HNO₃）からなる混酸溶液中に浸漬し、切断時に導入された加工歪みを除去した。そして、一枚については、セコエッチングによる選択エッチング

を30分間施すことによって、成長欠陥を腐食させ、成長欠陥のFPD（原子空孔の凝集体）とLEP（格子間シリコン原子の凝集体）の密度を検査した。残る一枚については、800℃/4h（N₂）+1000℃/16h（O₂）の析出熱処理を施した。析出熱処理については、いろいろなシーケンスがあるが、成長したままの結晶に含まれる酸素析出核の密度を保存して成長させるためには、このシーケンスが最も適している。この析出熱処理後に少数キャリアのライフタイムを調べ、X線トポグラフ撮影を行った。

【0069】欠陥の領域と酸素析出量の高低に対応するX線トポグラフのコントラストの強弱から求めた欠陥分布図を図7に示す。図7において、縦軸は結晶の成長軸方向の位置、換言すればその位置に対応する引き上げ速度を表す。横軸は結晶の半径方向の位置を表す。領域Aは成長欠陥FPDの領域、領域BはリングOSFの領域、領域Cは無欠陥であるが酸素析出量の高い領域、領域Dは無欠陥であり、かつ酸素析出量の低い領域（本発明品質領域）、領域Eは酸素析出がわずかに起こる領域、領域Fは成長欠陥LEPの領域である。

【0070】図7には、ライフタイムの測定結果も併記したが、領域Cのライフタイムは高密度の酸素析出物の存在を反映して最も低い。一方、領域Dでは無欠陥であることと、酸素析出物の形成が抑制されていることを反映してライフタイムは最も高い。

【0071】この図7から、領域Cと領域Dの境界、すなわち、原子空孔過剰であるが成長欠陥FPDのない領域と格子間シリコン原子過剰であるがその凝集体のない領域の境界のうち、最も遅く現れる点に対応するPc.minが求まる。また、領域Dと領域Fとの境界、すなわち、領域Eに相当する境界のうち、最も早く現れる点に対応するPi.maxが求まる。この場合、Pi.maxは結晶中心部での値である。こうして求められた具体的値は、それぞれPc.min = 0.504 mm/min, Pi.max = 0.488 mm/min, Pc = 0.510 mm/minであった。

【0072】次に、上記と同じ引き上げ装置、炉内保温構造において、引き上げ速度を上で得られたPc.min = 0.504 mm/minとPi.max = 0.488 mm/minの間に制御しつつ結晶を育成した。できた結晶を上記と同様にして成長欠陥を調べたところ、引き上げ速度が制御された結晶直胴の全域が、成長欠陥とリングOSFの核のない無欠陥で酸素析出が抑制された領域Dになっていることを確認できた。この結晶から採取された試料の酸素析出量は図3の黒丸で示されている。

【0073】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0074】例えば、上記実施形態においては、直径8

インチのシリコン単結晶を育成する場合につき例を挙げ、説明したが、本発明は引き上げる結晶の直径にかかわらず適用出来るもので、直径6インチ以下、あるいは、直径8~16インチあるいはそれ以上のシリコン単結晶の育成においても適用でき、効果を奏するものであることは言うまでもない。

【0075】また、本発明は、引き上げ速度の制御ができれば、いかなる引き上げ装置、炉内構造の装置においても適用可能であり、シリコン融液への磁場の印加の有無も問われない。また、磁場を印加する場合においても、印加される磁場は水平磁場に限られるものではなく、いわゆる縦磁場、カスプ磁場等を印加する場合にも適用できる。また、本発明品質であるD領域のみの結晶を製造するには、引き上げ速度だけを制御する場合のみならず、合わせて結晶中温度勾配Gあるいはその他の因子を制御するようにしても良く、本発明はこのような制御をする場合を排除するものではない。

【0076】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明のシリコン単結晶およびシリコン単結晶ウェーハは、結晶冷却中に形成される点欠陥の凝集体である成長欠陥（FPD、COPと呼ばれる空洞と転位ループおよびそのクラスター）および酸化誘起積層欠陥の核を全域にわたって含まないために、酸化膜耐圧不良や接合リーク不良が低減されることに加えて、全域が格子間シリコン原子過剰になっていることから異常（高密度）酸素析出が起こらないために、ウェーハ間の酸素析出量のばらつきがなくデバイス熱プロセスの設計が容易になるとともに、高密度な酸素析出物が起こらないために、それに起因する接合リーク不良が起こらない。したがって、高集積度の半導体素子の生産歩留まりの向上に貢献する。また、本発明のシリコン単結晶の製造方法では、シミュレーションから求める温度勾配Gの値を用いずとも、引き上げ速度だけで本発明のシリコン単結晶の実現条件を規定するため、本発明のシリコン単結晶の製造方法には共通性と一般性があり、広く利用できるという特徴があり、工業生産上大きな寄与をする。

【図面の簡単な説明】

【図1】リングOSF領域とLEP（転位ループとそのクラスター）領域との間に無欠陥領域の存在を示すデータのスケッチ図である。

【図2】引き上げ速度を一定の変化量で漸次減少させて育成した結晶について、横軸を結晶半径方向の位置とし

て、縦軸を引き上げ速度（結晶直胴部の位置）として欠陥分布を描いた一例図である。

【図3】図2に示した無欠陥領域のうち領域Cと領域Dに適合する引き上げ速度で育成された結晶から採取された試料の酸素析出挙動を示した図である。領域Cが白丸、領域Dが黒丸で表されている。

【図4】3種類の炉内保温構造において、引き上げ速度を一定の変化量で漸次減少させて育成した結晶について、横軸を結晶半径方向の位置として、縦軸を引き上げ速度（結晶直胴部の位置）として欠陥分布を描いた図である。（a）は結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりも大きい場合、（b）は結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりもわずかに大きい場合、（c）は結晶表面の成長軸方向温度勾配が結晶中心の成長軸方向温度勾配よりも小さい場合である。

【図5】いろいろな炉内保温構造において、引き上げ速度を一定の変化量で漸次減少させて結晶を育成し、図2の領域Dを実現する引き上げ速度範囲 $\Delta P = P_{c.min} - P_{i.max}$ と η との関係を調べた結果を表す図である。

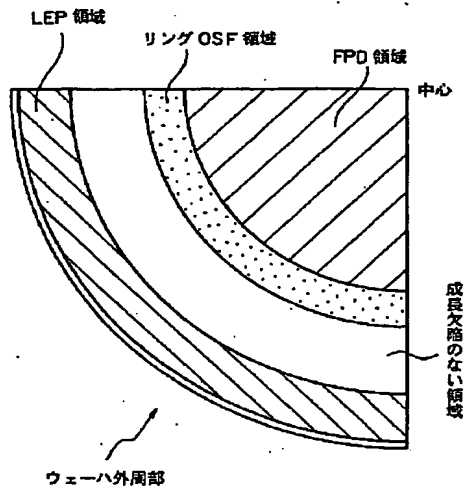
【図6】実施例で使用したCZ法による単結晶引き上げ装置の構成例図である。

【図7】実施例で得られた欠陥分布図とライフタイムの値である。

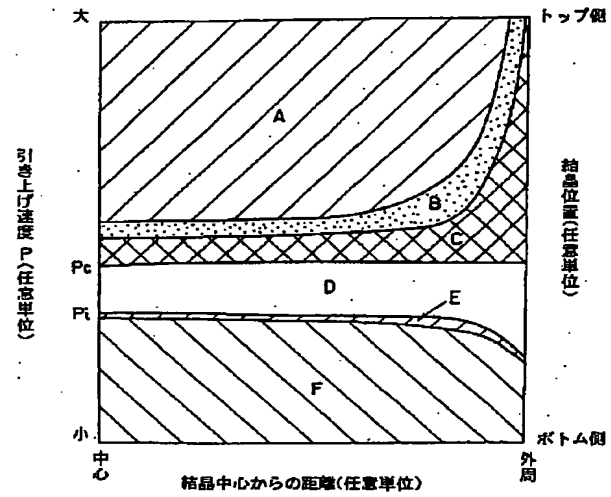
【符号の説明】

- 1…成長単結晶棒、
- 2…シリコン融液、
- 3…湯面、
- 4…固液界面、
- 5…種結晶、
- 6…シードチャック、
- 7…ケーブル、
- 8…固液界面断熱材、
- 9…整流筒、
- 10…湯面と固液界面断熱材下端との隙間、
- 30…単結晶引き上げ装置、
- 31…引き上げ室、
- 32…ルツボ、
- 33…ルツボ保持軸、
- 34…ヒータ、
- 35…断熱材、
- 36…磁石。

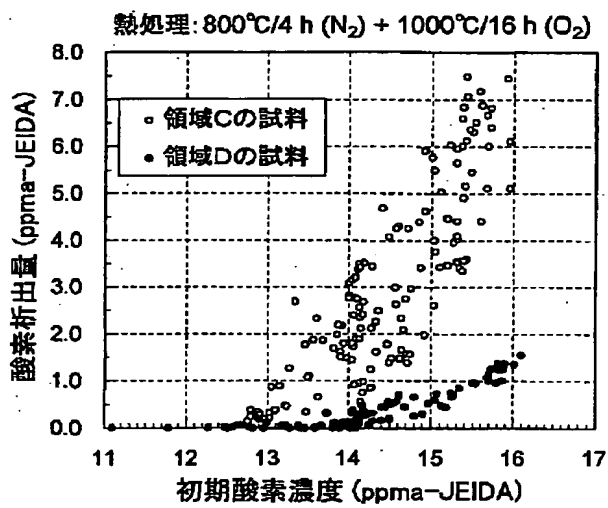
【図1】



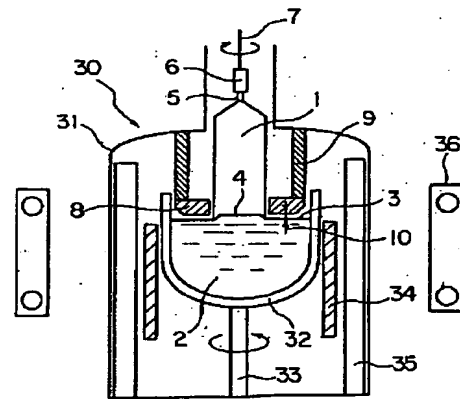
【図2】



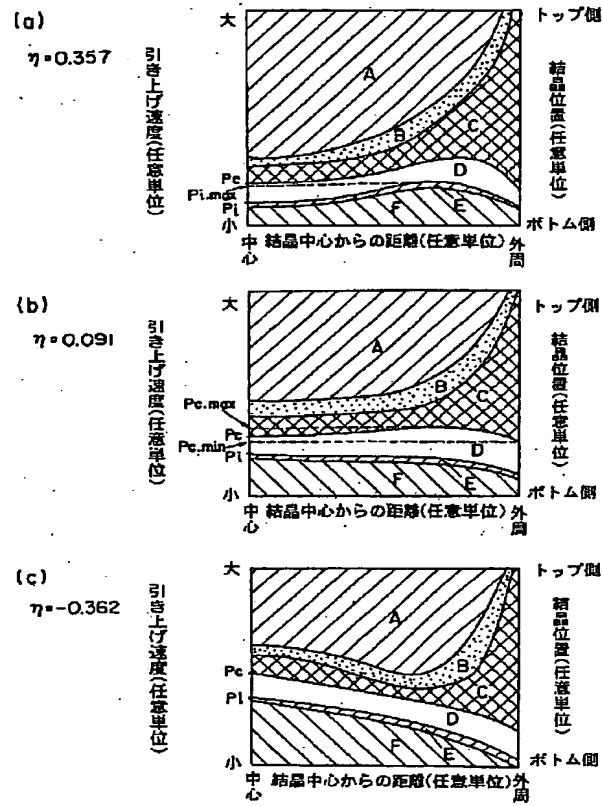
【図3】



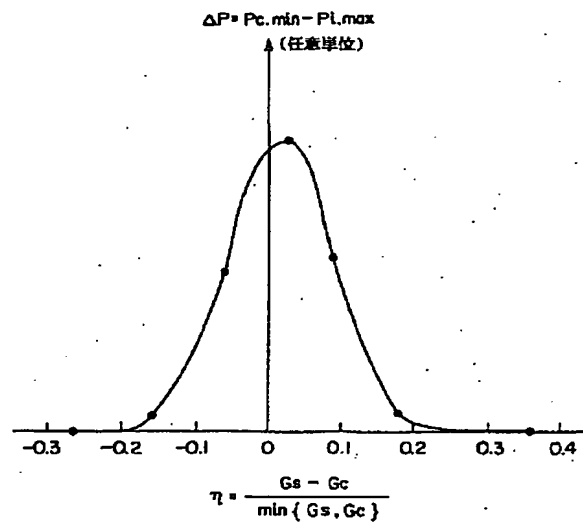
【図6】



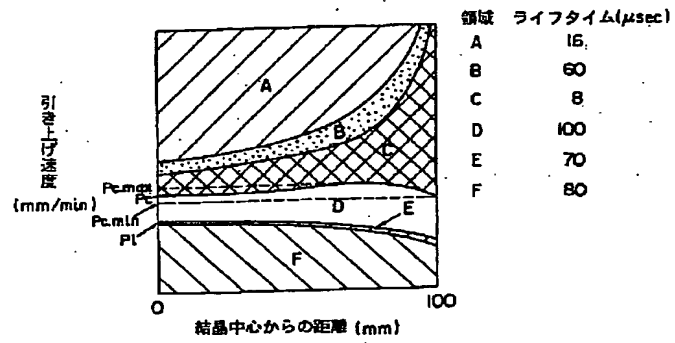
【図4】



【図5】



【図7】



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-199387
(43)Date of publication of application : 27.07.1999

(51)Int.Cl. C30B 29/06
C30B 15/20

(21)Application number : 10-021410 (71)Applicant : SHIN ETSU HANDOTAI CO LTD
(22)Date of filing : 19.01.1998 (72)Inventor : YAMANAKA HIDEKI
SAKURADA MASAHIRO
HORIE SHINICHI

(54) PRODUCTION OF SILICON SINGLE CRYSTAL AND SILICON SINGLE CRYSTAL WAFER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for producing a high-quality silicon single crystal having no growth defect in the whole region of wafer and slight variation of precipitated amount of oxygen by pulling up the crystal while controlling a pulling up speed being a variable having both commonality and generality and to obtain the silicon single crystal produced by the method.

SOLUTION: In a method for growing a silicon single crystal by a czochralski method, a crystal pulling up speed is controlled to grow the crystal while controlling the speed between a transition pulling up speed P_c at which a transition from a zone in which an atomic vacancy is excessive but no growth defect exists to a zone in which an interstitial silicon atom is excessive but no its aggregate exists occurs and a transition pulling up speed P_i at which a transition from a zone in which an interstitial silicon atom is excessive but no its aggregate exists to a zone in which the aggregate of the interstitial silicon atom exists occurs. The silicon single crystal is obtained by the method. A silicon single crystal wafer is obtained from the silicon single crystal.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.03.2000
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 20.05.2003
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-11133
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 18.06.2003
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The manufacture approach of the silicon single crystal characterized by raising a crystal in the field in which the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous in case a silicon single crystal is raised with the Czochralski method.

[Claim 2] In case a silicon single crystal is raised with the Czochralski method, a crystal raising rate The transition raising rate P_c to which the transition to the field where the floc does not exist from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous although the silicon atom between grids is superfluous takes place, The manufacture approach of the silicon single crystal characterized by raising a crystal, controlling between the transition raising rates P_i to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous.

[Claim 3] Although the silicon atom between grids is superfluous, when the transition point to a field without the floc changes with the directions of a path of a crystal from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous The smallest transition raising rate in the transition raising rate corresponding to the transition point ($P_{c.min}$), Between the largest transition raising rates ($P_{i.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous The manufacture approach of the silicon single crystal according to claim 2 characterized by raising a crystal, controlling a crystal raising rate.

[Claim 4] Although the silicon atom between grids is superfluous, when the transition point to a field without the floc changes with the directions of a path of a crystal from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous Claim 2 characterized by making the rate to $P_{c.min}$ of the difference of the largest transition raising rate ($P_{c.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point, and the smallest transition raising rate ($P_{c.min}$) into 0% - 7% Or the manufacture approach of a silicon single crystal according to claim 3.

[Claim 5] Crystal growth shaft-orientations temperature gradient G of the interface right above of silicon melt and a crystal The manufacture approach of a silicon single crystal given in any 1 term of claim 2 characterized by making the rate to G_{min} of the difference of the radial maximum G_{max} and the minimum value G_{min} into 20% or less thru/or claim 4.

[Claim 6] In the manufacture approach of a silicon single crystal given in any 1 term of claim 2 thru/or claim 5 Said P_c , P_i and $P_{c.max}$ and $P_{c.min}$, and $P_{i.max}$ A crystal is raised pulling up during raising of the single crystal performed beforehand, and decreasing a rate gradually. From the raised single crystal rod, the sample by which the vertical end was carried out in parallel with crystal growth shaft orientations through the crystal center shaft is started. Perform etching processing, in order to remove surface treatment distortion, and oxygen precipitation heat treatment is performed to this. The manufacture approach of the silicon single crystal characterized by what it opts for by measuring life time of a minority carrier in quest of distribution of the defect in a sample, and searching for distribution of the life time in a sample.

[Claim 7] The silicon single crystal manufactured by the manufacture approach indicated to claim 1 thru/or claim 6.

[Claim 8] The silicon single crystal wafer obtained from the silicon single crystal manufactured by the manufacture approach indicated to claim 1 thru/or claim 6.

[Claim 9] The silicon single crystal wafer which is a silicon single crystal wafer raised by the Czochralski method, contains the silicon atom between grids superfluously in the wafer whole region, and does not contain the crystal defect used as the nucleus of the oxidation induction stacking fault formed when floc of

the growth defect which is the floc of an atomic hole, and the silicon atom between grids, and thermal oxidation processing are performed excluding the abnormality precipitation-of-oxygen field resulting from a superfluous atomic hole.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the manufacture approach of a silicon single crystal and silicon single crystal wafer which are used for manufacture of a semiconductor integrated circuit component etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] The silicon single crystal wafer used as a substrate of a semiconductor integrated circuit component is mainly manufactured by the Czochralski method (CZ process). A CZ process is an approach of raising a cylinder-like silicon single crystal, by pulling up seed crystal gradually, making the seed crystal of a silicon single crystal immersed in the silicon melt by which melting was carried out at the elevated temperature 1420 degrees C or more within the quartz crucible, and rotating a quartz crucible and seed crystal. Since the solidification latent heat emitted in case melt solidifies becomes large so that the diameter of the crystal generally raised becomes large, it is necessary to make a raising rate small. For example, diameter of 200mm Generally the raising rate of a crystal is 0.40 - 1.5 mm/min. Thus, if elevated-temperature thermal oxidation processing of 1000 degrees C or more is performed to the wafer produced from the silicon single crystal manufactured, it is OSF to the shape of a ring in a wafer. The oxidation induction stacking fault (it is hereafter written as Ring OSF) called may be formed.

[0003] However, with the silicon single crystal wafer manufactured at the comparatively high raising rate, it is Ring OSF. It would escape on the outside of a wafer, or will exist in the wafer outermost periphery, the atomic hole which is the lattice point from which the silicon atom escaped is superfluously incorporated by the solid-liquid interface inside a wafer, and it condenses during crystal cooling, and grows up to be an observable defect. This is called growth defect. Fusegawa etc. showed that this growth defect could observe for the first time with the SEKOETCHINGU liquid which corrodes a defect alternatively (JP,4-192345,A). This is called FPD (Flow Pattern Defect). Then, detection by the option is considered and they are COP (Crystal Originated Particle) and LSTD (Laser Scattering Tomograph Defect). Although the defect called also appeared, in the latest research, these became clear [that it is the same stereo]. That is, it was analyzed by electron microscope observation that it is the cavity (referred to as Void or Negative crystal) of the regular octahedron which the atomic hole condensed.

[0004] what has the big magnitude of this growth defect -- it is -- 0.2 mum it is -- the degree of integration of a device -- small -- a design rule -- 1 mum although the above time was hardly influenced at the yield of a device -- it -- 1 mum When it became below, it became clear to do a bad influence to a device. If a growth defect exists the inside of a device barrier layer, and near it, poor junction leak will be caused. If it exists in a wafer front face, a poor oxide-film proof pressure and poor junction leak will be caused. From now on, since the degree of integration of a device becomes still larger, it will be required the consistency of this growth defect, reduction of magnitude or disappearance, and not to make it form further.

[0005] Ring OSF which is in a wafer periphery as an attempt in which the growth defect of this atomic hole reason is not made to form The development and the prototype of the so-called low-speed raising crystal which the wafer (crystal) center section was made to contract were performed around 1990. It is Ring OSF, so that a raising rate is made small as experiential knowledge by the crystal manufacture manufacturer. When the diameter of a ring became small and carried out to below a certain raising rate, contracting in the crystal center section was common knowledge. However, OSF formed in a front face Since it became the largest, manufacture of the wafer by having a bad influence on the device formed in a front face and low-speed-izing a raising rate for the problem of the productivity slowdown of the crystal by the formation of low-speed raising was avoided.

[0006] It is Ring OSF if a raising rate is made small in such a situation. Sasayama etc. announced carrying out contraction disappearance to the crystal center section officially as reference (the application physics No. 60, p.766, 1991). Moreover, Tachimori etc. is Ring OSF. Although the poor oxide-film proof pressure happened by the inside of the existing wafer, on the outside, it announced that a defect does not happen (the Japan Society of Applied Physics crystal engineering subcommittee, the 7th time crystal engineering symposium, p. 1990 [27 or]). Development of a low-speed raising crystal and a prototype came to be performed taking advantage of this announcement. As the result, Von Amon (W. V. Ammon) etc. ring OSF Raising rate P_{crit} (mm/min) contracted in the crystal center section It is proportional to the crystal side core temperature gradient G of growth shaft orientations (degree C/mm). $P_{crit}/G = 0.13 \text{ mm}^2/^\circ\text{C}$ and min Experimentally in quest of being given, it announced officially (JP,7-257991,A or Journal of Crystal Growth vol.151, p.273-277, and 1995). The theory as which Voronkov advocated this, i.e., the class and concentration of a superfluous point defect, is P/G . It is the first work which showed experimentally the theory (V.V.Voronkov: Journal of Crystal Growth, vol.59, p.625, 1982) of being decided.

[0007] However, ring OSF An outside or ring OSF FPD which is the growth defect of an atomic hole reason at the wafer (it is hereafter named the outside of Ring OSF generically since the outside of Ring OSF of this is the same as that of the wafer which spread on the whole surface) which carried out contraction disappearance By the crystal manufacture manufacturer, it agreed to observe the selective etching pit where magnitude completely differs from a configuration. Although I hear that oxide-film pressure-proofing was not influenced and the inside of the first stage was not made into the problem It becomes clear that the defect who originated in leak by the device yield occurs, and it is this big selective etching pit (here). Large Etch Pit, a call, and LEP; to outline -- it may be called the mold dislocation loop between grids, a rearrangement cluster, and a large dislocation The crystal defect used as a basis (the crystal defect is also hereafter written as LEP.) The wafer not existing is needed.

[0008] Thus, ring OSF It became clear that a crystal defect of a different kind is completely formed bordering on a field. it mentioned above in current -- as -- ring OSF FPD which is an inside growth defect LEP which exists in a low consistency on the outside although it is clear that it is the cavity which the atomic hole condensed about -- the stereo is not solved yet. Contrast with the research result of the crystal defect in a floating zone method (FZ method) to LEP It is the floc of the silicon atom between grids, and it is predicted that they are a dislocation loop and its cluster. Since this is also formed during crystal cooling, it is a growth defect.

[0009] By such circumstances, it is FPD. LEP And ring OSF Development of the wafer not existing became an important and indispensable technical problem by the crystal manufacture manufacturer.

[0010] On the other hand, it is Horai etc. to FPD. LEP And ring OSF The data which suggest the possibility of the wafer not existing were released (M.Hourai et al. : Progress in Semiconductor Fabrication, SEMICON/Europe, 1993 Technical Conference, Geneva, March/April, and 1993). The data is shown in drawing 1 . This is about 4 of a wafer which was made to carry out thermal diffusion of the copper, was made to ornament a crystal defect, and performed X-ray topogrph photography from the wafer front face. It is the sketch Fig. of 1 of a part. Ring OSF A field and LEP It turns out that there is a field where a crystal defect does not exist between fields (a dislocation loop and its cluster). Namely, ring OSF It is FPD to an outside. It suggested that the field which LEP (rearrangement cluster) does not have, either was formed and the field could be further expanded according to crystal training conditions.

[0011] Then, the silicon single crystal wafer which is a silicon single crystal wafer raised by Horai etc. with the Czochralski method, is a low-speed training wafer with which the oxidation induction stacking fault (ring OSF) generated in the shape of a ring was extinguished in the wafer center section when thermal oxidation processing is carried out, and is characterized by eliminating the rearrangement cluster from the whole wafer surface was invented (JP,8-330316,A). Furthermore, such a wafer is P/G , when setting a raising rate to P (mm/min) and setting the average of the temperature gradient of the raising shaft orientations from the melting point of silicon to 1300 degrees C to G (degree C/mm). They are $0.20\text{--}0.22\text{mm}^2/^\circ\text{C}$, and min about a value. It proposed that it was realizable by controlling.

[0012] In it, it is P/G . $0.22 \text{ mm}^2/^\circ\text{C}$, and min It is Ring OSF when becoming. It is supposed that it will contract in the crystal center section. if this compares with the value of Von Amon of point $^\circ\text{C}$ etc. -- 1.7 twice -- it is large. moreover -- the announcement of Nakamura etc. -- $P_{crit}/G = 0.15 \text{ mm}^2/^\circ\text{C}$ and min it is (22 4 24 a Japanese crystal growth society magazine, Vol. No. P 1997) . Thus, P_{crit}/G A value changes greatly with announcement engines.

[0013] It is actually Ring OSF whether proposed wafers, such as Horai, are realizable, if the photograph (refer to drawing 1) announced officially in 1993, saying that it stated in the top is seen, although it is not

clear. A rearrangement cluster is also FPD to an outside. It is a fact that there is a field which is not.

[0014] Although the above contents are in the technical situation an atomic hole, reduction of the growth defect resulting from the silicon atom between grids, and the latest [about elimination], the crystal defect which has effect important for a device from before in the silicon single crystal by the CZ process is an oxygen sludge, and the control technique is an important technique in a device process. In recent years, the device thermal process has low-temperature-ized and control of the consistency of the oxygen sludge is more important.

[0015] In a CZ process, since a quartz crucible is used, oxygen is incorporated by silicon melt during penetration and a crystal from a quartz crucible. And during crystal cooling, it becomes supersaturation and condensation of oxygen takes place. Condensation is most promoted 650 ** and near 500 **. Therefore, since the nucleation of this oxygen sludge happens in response to the heat history of the low temperature under crystal cooling, the upper part of a crystal differs in the consistency of a precipitation-of-oxygen nucleus greatly from the lower part. Of course, depending on the supersaturation oxygen density incorporated during a crystal, precipitation-of-oxygen nuclear density increases, so that the concentration is high. Therefore, the wafer manufacturer requires precision control of a supersaturation oxygen density.

[0016] Into a subsequent device thermal process, supersaturation oxygen deposits in those nuclei and the precipitation-of-oxygen nucleus formed during crystal manufacture grows up to be a bigger oxygen sludge. An oxygen sludge has the important duty which carries out gettering of the heavy metal polluted from the outside, such as equipment, in a device manufacture process. On the other hand, if a sludge is formed in high density, it will exist even in the inside of a device barrier layer, or its near, and will become the cause of poor junction leak. In the conventional thermal process, when high temperature processing of 1200 degrees C put in another way between the wafers of the consistency of the precipitation-of-oxygen nucleus which most amount of the precipitation-of-oxygen nucleus which is in an early phase comparatively and was formed during crystal manufacture of all heat treatment processes was remelting, and was potentially contained in the wafer, the difference during a crystal or between crystal locations was eliminated. However, recently, early heat treatment is low-temperature-ized and has become 1000-1050 degrees C, and the precipitation-of-oxygen nucleus formed during crystal manufacture serves as a process which grows as it is, without dissolving. For this reason, importance is attached to control of the consistency of the precipitation-of-oxygen nucleus under crystal manufacture more than before. Therefore, the approach of controlling dispersion in the consistency of the precipitation-of-oxygen nucleus between the wafers which happen during crystal manufacture needs to be invented.

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, it is Ring OSF if the raising rate is made small. It is a well-known fact that a path becomes small and carries out contraction disappearance in the crystal center section at a certain raising rate in those who are crystal manufacture manufacturers and are engaged in crystal manufacture. Moreover, ring OSF It is also a fact that the cavity which is the floc of an atomic hole is formed inside as a growth defect. Moreover, it is Ring OSF as Horai etc. announced officially. As for an outside, it is also well-known that LEP (a dislocation loop and its cluster) which is the floc of the silicon atom between grids is formed. Moreover, Horai etc. is Ring OSF. LEP of the periphery section and its outside The knowledge that there was a field where the growth defect FPD does not exist between fields was developed, and it proposed extending it throughout a wafer.

[0018] About the approach of extending a defect-free field for the whole wafer surface or a crystal overall length in Horai's etc. invention, it is P/G. It is G although specified in the range. Since a value is what is not a value at the time of actual crystal growth, and is depended on comprehensive heat transfer analysis simulation, it does not turn into a value which had generality among crystal manufacture manufacturers. It is Ring OSF as mentioned above. Pcrit/G contracted in the crystal center section That a value turns into a value which is different with an engine can say that that is supported. G ** values differ by whether the simulation software developed in each engine is used, or commercial simulation software (for example, software:F.Dupret et al; Journal of Heat Transfer called FEMAG, vol.33, p.1849, and 1990) is used. Furthermore, it is G also by the method of a definition of the method of creation of a finite-element mesh, boundary condition, and inclination. It will become a different value.

[0019] Therefore, P/G A value is not suitable as a variable which gives and controls generality and similarity. Generally, it is G. A value is not the variable controlled in crystal growth but a parameter given to the designed incubation structure in a furnace, and it is very difficult to carry out modification control of this during crystal raising. Moreover, G for which it asks in simulation also about the absolute value since there are not similarity and generality About the value, it should use as a relative value within each engine. On the

other hand, it pulls up, and since a rate is a common variable and is actually controlled also by what engine, it is suitable as a variable.

[0020] On the other hand, the class and amount of a superfluous point defect are P/G. There is not still theory which denies completely Voronkov's theory of being decided, or an experiment fact. However, P/G to which formation of the growth defect which is not the theory which gives the critical value from which transition of the class of point defect takes place as a concrete numeric value, and also is the floc of a point defect takes place It is not the theory which gives a numeric value, either. Moreover, a transition point is P/G even if. Even if the experimental result of being decided only by the value is obtained, it is the same P/G to any incubation structures in a furnace. It is very difficult to prove that it changes. Because, G Since a value changes with analytical engines, it is because there are not similarity and generality.

[0021] Considering such a situation, it is the boundary of the formation field of a growth defect, and a defect-free field P/G Not but, raising rate P which is an actual control variable If the general approach of determining can be found out, in actual crystal manufacture, although it is very effective and is a general approach therefore, there will be similarity between each engine, and it will become the very high approach of easy and practicality.

[0022] On the other hand, Horai etc. is Ring OSF as mentioned above. LEP of the periphery section and its outside It is the growth defect FPD between fields. The knowledge that there was a field not existing was developed and it proposed extending it throughout a wafer. However, it is not clarified about the precipitation-of-oxygen behavior about this field.

[0023] If the transition point of a superfluous point defect is in this defect-free field, the field where an atomic hole is superfluous will exist in this defect-free field, and the amount of precipitation of oxygen may become high unusually. It is because it depends for the amount of precipitation of oxygen on a superfluous atomic hole and the superfluous silicon atom concentration between grids. As shown in the following formula, an oxygen sludge (for example, SiO₂) will be promoted if atomic hole concentration becomes superfluous, and if the silicon atom concentration between grids becomes superfluous, on the other hand, it will be controlled.

$2x\text{O}_i + y\text{Si} + z\text{V} \rightleftharpoons x\text{SiO}_2 + (y-z-x)\text{I}$ -- here -- O_i the oxygen atom between grids, and Si -- a silicon grid atom and V An atomic hole and I express the silicon atom between grids, and x, and y and z express concentration.

[0024] This can be explained as follows qualitatively. In a silicon mother crystal, formation of an oxygen sludge expands the volume about 2.25 times. In order to ease grid distortion generated by this, the silicon atom between grids is emitted. Since the silicon atom between grids emitted as an atomic hole is superfluous is absorbable, a deposit of oxygen is promoted. If the silicon atom between grids is superfluous, since absorption of the silicon atom between grids emitted does not take place, precipitation of oxygen will be controlled.

[0025] In the field which precipitation of oxygen promotes, and the field controlled, a difference may arise to dispersion in the amount of precipitation of oxygen. If it puts in another way, it will be predicted that the difference of whether it is easy to be influenced of the heat history or to be hard to win popularity arises. If it carries out from the position of designing a device process, it will be one of what [the / to avoid most] that the consistencies of an oxygen sludge differ for every wafer. It is required for the consistency of an oxygen sludge not to vary between wafers.

[0026] This invention was made in view of the above troubles, and does not have a growth defect in the wafer whole region. And raising rate P which is the variable which had similarity and generality for the silicon single crystal of high quality with little dispersion in the amount of precipitation of oxygen It considers as a variable. The transition point and Ring OSF of a superfluous point defect field The optimal field by clarifying the transition point of the formation field of a growth defect And a header, It aims at offering the silicon single crystal and silicon single crystal wafer which are manufactured by the approach of manufacturing by pulling up a crystal, and its approach, pulling up within the limits of the raising rate corresponding to the field, and controlling a rate.

[0027]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, in case a silicon single crystal is raised with the Czochralski method, although the silicon atom between grids of invention indicated to claim 1 of this invention is superfluous, it is the manufacture approach of the silicon single crystal characterized by raising a crystal in the field in which the floc does not exist.

[0028] Thus, although the silicon atom between grids is superfluously contained in the whole region of a silicon single crystal if a crystal is raised only in the field in which the floc does not exist although the

silicon atom between grids is superfluous in case a silicon single crystal is raised The silicon single crystal which does not contain the crystal defect used as the nucleus of the oxidation induction stacking fault formed when floc of the growth defect which is the floc of an atomic hole, and the silicon atom between grids, and thermal oxidation processing are performed can be manufactured excluding the abnormality precipitation-of-oxygen field resulting from a superfluous atomic hole.

[0029] Moreover, in case invention indicated to claim 2 of this invention raises a silicon single crystal with the Czochralski method The transition raising rate P_c to which the transition to the field where the floc does not exist from the field which does not have a growth defect in a crystal raising rate although an atomic hole is superfluous although the silicon atom between grids is superfluous takes place, It is the manufacture approach of the silicon single crystal characterized by raising a crystal, controlling between the transition raising rates P_i to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist, although the silicon atom between grids is superfluous.

[0030] In order to raise a crystal like claim 1 only in the field in which the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous in case a silicon single crystal is raised Although you may make it control the factor of the temperature gradient and others of a crystal orientation, by controlling a crystal raising rate like claim 2 If the silicon single crystal of this quality is raised, the silicon single crystal of request quality can be obtained simply and certainly, and an uncertain simulation analysis etc. is unnecessary.

[0031] in this case, when the transition point to a field without that floc changes with the directions of a path of a crystal from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous although the silicon atom between grids is superfluous as indicated to claim 3 The smallest transition raising rate in the transition raising rate corresponding to the transition point ($P_{c.min}$), Between the largest transition raising rates ($P_{i.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous It is necessary to make it raise a crystal, controlling a crystal raising rate.

[0032] Usually, the transition point from a field to the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous and which does not have the floc although the silicon atom between grids is superfluous changes with the directions of a path of a crystal in many cases, and in such a case, if a crystal is not raised controlling a crystal raising rate between above-mentioned $P_{c.min}$ and $P_{i.max}$, when it is made a wafer, it cannot make the whole surface a request defect-free field.

[0033] and when the transition point to a field without the floc changes with the directions of a path of a crystal from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous although the silicon atom between grids is superfluous as indicated to claim 4 It is made to make the rate to $P_{c.min}$ of the difference of the largest transition raising rate ($P_{c.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point, and the smallest transition raising rate ($P_{c.min}$) into 0% - 7%. Moreover, as indicated to claim 5, it is the crystal growth shaft-orientations temperature gradient G of the interface right above of silicon melt and a crystal. It is made to make the rate to G_{min} of the difference of the radial maximum G_{max} and the minimum value G_{min} into 20% or less.

[0034] Thus, by considering as the conditions of above-mentioned $P_{c.max}$ and above-mentioned $P_{c.min}$, or the conditions of G_{max} and G_{min} , when a transition point changes with the directions of a path of a crystal, although the silicon atom between grids is superfluous, it becomes controllable [the raising rate for pulling up the crystal of the request quality of only the field where the floc does not exist].

[0035] In this invention and the concrete value of P_c , P_i and $P_{c.max}$, $P_{c.min}$, and $P_{i.max}$ A crystal is raised pulling up during raising of the single crystal performed beforehand, and decreasing a rate gradually, as indicated to claim 6. From the raised single crystal rod, the sample by which the vertical end was carried out in parallel with crystal growth shaft orientations through the crystal center shaft is started. In order to remove surface treatment distortion, etching processing is performed, oxygen precipitation heat treatment is performed to this, life time of a minority carrier is measured in quest of distribution of the defect in a sample, and it is made to determine by searching for distribution of the life time in a sample.

[0036] According to such an approach, in the raising machine of any incubation structures in a furnace, P_c , P_i and $P_{c.max}$, $P_{c.min}$, and $P_{i.max}$ can be determined simply and correctly in principle. And if complicated count, the simulation based on an indefinite element and an inaccurate premise, etc. are unnecessary at all, it pulls up according to the acquired value, a rate is controlled and a crystal is raised, the crystal of request quality can be obtained certainly.

[0037] Therefore, the silicon single crystal (claim 7) which has the quality of only the field where the floc

does not exist by the approach of this invention although the silicon atom between grids is superfluous can be obtained efficiently. The silicon single crystal wafer (claim 8) obtained from this silicon single crystal In the wafer whole region, the silicon atom between grids is superfluously contained like claim 9. It becomes the silicon single crystal wafer which does not contain the crystal defect used as the nucleus of the oxidation induction stacking fault formed when floc of the growth defect which is the floc of an atomic hole, and the silicon atom between grids, and thermal oxidation processing are performed excluding the abnormality precipitation-of-oxygen field resulting from a superfluous atomic hole.

[0038] Hereafter, it explains per this invention and also to a detail. The transition point of the class of point defect [first as opposed to a crystal raising rate at this invention], the transition point of a growth defective field, and ring OSF The transition point of a field is decided as follows. That is, a crystal is raised fixing variation gamma of the raising rate per unit length (mm/min/cm), pulling up it during crystal raising, and decreasing a rate gradually, it passes along a crystal center shaft, and the sample by which the vertical end was carried out in parallel with crystal growth shaft orientations is produced. In order to remove processing distortion introduced in this sample at the time of cutting, it is immersed in the mixed-acid solution which consists of fluoric acid (HF) and a nitric acid (HNO₃). Next, each transition point can be determined from a distribution map by performing oxygen precipitation heat treatment to a sample, performing analysis by the X-ray topogrph method, investigating distribution of the defect in a sample, or performing measurement by the life time method of a minority carrier, and investigating distribution of the life time in a sample.

[0039] In the above-mentioned approach, although variation of the raising rate per unit length was fixed, and was pulled up and the rate was decreased gradually, it is not necessarily required requirements to make the variation regularity. However, it is convenient for the direction which set variation constant evaluating relatively the crystal raised with a monograph affair.

[0040] In this way, an example of the defective distribution map for which it asked is shown in drawing 2 . Field A is the growth defect FPD. It is the field formed. This gives SEKOETCHINGU to the sample to which oxygen precipitation heat treatment is not performed by the above-mentioned sample, and can check it by observing a front face. Field B is Ring OSF. It is the field formed. Field C is FPD of a growth defect. LEP Although it is a defect-free field in the field which is not observed, it is the field where precipitation of oxygen happens. Field D is FPD of a growth defect. LEP Although it is a defect-free field in the field which is not observed, precipitation of oxygen is the field which hardly happens (request quality field of this invention). Field E is LEP. It is the field which it begins to form and precipitation of oxygen has happened slightly. Field F is LEP of a growth defect. It is the field observed and is the field where precipitation of oxygen hardly happens.

[0041] If the size of the amount of precipitation of oxygen is compared by comparing the size of the strength of the contrast of an X-ray topogrph image, and the life time of a minority carrier in each field, it will become Field C, Field A, Field E, Field B, and Fields D and F at descending. If the silicon atom between grids becomes superfluous as mentioned above, since precipitation of oxygen is controlled, it can be judged as the field D where precipitation of oxygen was controlled, and E and F being the fields where the silicon atom between grids is superfluous. Therefore, the silicon overatom field between grids and an atomic overhole field are in a defect-free field, and the boundary can be judged from measurement of the difference of the amount of precipitation of oxygen, or the life time of a minority carrier. By the manufacture approach of this invention, it asks for a defective distribution map in this way first, and each raising rate factor is got to know.

[0042] Next, the silicon single crystal and silicon single crystal wafer which will be obtained the manufacture approach of the silicon single crystal of this invention and from now on are explained in full detail. About many samples produced at the raising rate equivalent to the field C of the defect-free field shown in drawing 2 , and Field D, if the amount of precipitation of oxygen is investigated, it will become like drawing 3 . Its dispersion is also large while the precipitation of oxygen of the field C shown with a circle [white] has many amounts of deposits. The precipitation of oxygen of the field D shown by the black dot is ** carrying out of the ideal behavior that dispersion is also small and the amount of deposits is mostly decided only by the initial oxygen density while it is controlled and there are few amounts of deposits.

[0043] Therefore, in this invention, if a crystal is pulled up within the limits of this field D, the silicon single crystal of request quality and a silicon single crystal wafer can be obtained. That is, it is the silicon single crystal and the silicon single crystal wafer which are raised by the Czochrski method, and the silicon single crystal and the silicon single crystal wafer which contain the silicon atom between grids superfluously in the whole region, and do not contain the crystal defect used as the nucleus of the oxidation induction stacking fault formed excluding the abnormality precipitation-of-oxygen field resulting from a superfluous atomic

hole when floc of the growth defect which is the floc of an atomic hole, and the silicon atom between grids, and thermal-oxidation processing are performed are realized.

[0044] If this is said at a raising rate, in drawing 2, the transition to the field where the floc does not exist from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous, i.e., an abnormality precipitation-of-oxygen field, although the silicon atom between grids is superfluous will take place, and the raising rate at that time will be set to P_c on the boundary of Field C and Field D. Although the silicon atom between grids is superfluous, the transition to the field where floc does not exist and where the floc of the silicon atom between grids exists from a field takes place, and the raising rate at that time is set to P_i on the boundary of Field D and Field E.

[0045] Then, the silicon single crystal and the silicon single crystal wafer with the request quality of only the D region of this invention The field which does not have a growth defect in a crystal raising rate although an atomic hole is superfluous, Namely, from an abnormality precipitation-of-oxygen field, although the silicon atom between grids is superfluous By the approach of raising while controlling between the transition raising rate P_c to which the transition to the field where the floc does not exist takes place, and the transition raising rate P_i to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist although the silicon atom between grids is superfluous It can manufacture.

[0046] If such actuation is performed with each incubation structure in a furnace, in principle, P_c and P_i can be pulled up within the limits of a header and these, a rate can be controlled, crystal growth can be performed in any raising equipments and the structure in a furnace, and the silicon single crystal and silicon single crystal wafer of this invention quality can be obtained. And since it is control of a raising rate, there is not necessarily no need of using special equipment in operation of this invention that what is necessary is just to use what is performed with usual raising equipment.

[0047] However, although the case where the incubation structure in a furnace is optimized becomes like drawing 2, the transition raising rates P_c and P_i change in the direction of a path of a crystal actually in many cases. Thus, drawing 4 (a), (b), and (c) showed the example of a type from which a transition raising rate differs among those which change in the direction of a path of a crystal. These are x about a crystal radius by the approach which has the incubation structure in three kinds of different furnaces, and was mentioned above, respectively. It considers as a shaft and is y about a raising rate. It considers as a shaft and asks for the distribution map of a crystal defect.

[0048] As an index showing a relative difference of the incubation structure in these furnaces, it is FEMAG. Crystal growth shaft-orientations temperature gradient G of the interface right above of the silicon melt and the crystal for which it asked with simulation software It uses. Difference ΔG of the value (G_s) on the front face of a crystal (periphery), and the value (G_c) of a crystal center When the ratio to a value with the smaller value of a crystal center and the smaller value on the front face of a crystal was set to η , it turned out that the values differ greatly, respectively.

[0049] namely, drawing 4 (a) -- the case where the growth shaft-orientations temperature gradient on the front face of a crystal is larger than the growth shaft-orientations temperature gradient of a crystal center -- $\eta = 0.357$ it is . drawing 4 (b) -- the case where the growth shaft-orientations temperature gradient on the front face of a crystal is slightly larger than the growth shaft-orientations temperature gradient of a crystal center -- $\eta = 0.091$ it is . drawing 4 (c) -- the case where the growth shaft-orientations temperature gradient on the front face of a crystal is smaller than the growth shaft-orientations temperature gradient of a crystal center -- $\eta = -0.362$ it is .

[0050] When this is seen, in the case of drawing 4 (a), it crosses throughout the crystal-radius direction, and there is no raising rate which enters into Field D in it. When shown in drawing 4 (b), in the case of smallness, η becomes close to ideal distribution of drawing 2 by forward. Like (a), in the case of drawing 4 (c), it crosses throughout the crystal-radius direction, and there is no raising rate which enters into Field D in it.

[0051] thus, although the silicon atom between grids is superfluous, when the transition point to a field without the floc changes with the directions of a path of a crystal from the field which does not have a growth defect although an atomic hole is superfluous The smallest transition raising rate in the transition raising rate corresponding to the transition point ($P_{c.min}$), It is necessary to make it raise a crystal, controlling between the largest transition raising rates ($P_{i.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point to the field where the floc of the silicon atom between grids exists from the field where the floc does not exist, although the silicon atom between grids is superfluous.

[0052] and about the incubation structure in a furnace of giving the value of η comparatively near the example shown in drawing 4 (b) When many are investigated, in order for the raising rate which crosses

throughout the crystal-radius direction and enters into Field D to exist. It became clear that it is required to make the rate to $P_{c.min}$ of the difference of the largest transition raising rate ($P_{c.max}$) in the transition raising rate corresponding to the transition point and the smallest transition raising rate ($P_{c.min}$) into 0% - 7%.

[0053] Moreover, it crossed throughout the crystal-radius direction, and when the conditions in which the raising rate which enters into Field D exists were said on condition that the crystal growth shaft-orientations temperature gradient, it became clear that it is required to make the rate to G_{min} of the difference of the radial maximum G_{max} of the crystal growth shaft-orientations temperature gradient of the interface right above of silicon melt and a crystal and the minimum value G_{min} into 20% or less.

[0054] That is, drawing 5 is drawing showing the result of having investigated relation with η as raising speed-range $**P = P_{c.min} - P_{i.max}$ which a raising rate is gradually decreased by fixed variation, raises a crystal, and realizes Field D, in various incubation structures in a furnace. It is $**P$, if this drawing is seen, and it does not ask whether η is forward or it is negative and is not 20% or less. It turns out that it is set to 0.

[0055] And a crystal overall length is covered among crystal growth, and it is the raising rate P . If it pulls up controlling between P_c and P_i or between $P_{c.min}$ and $P_{i.max}$, although the silicon atom between grids of this invention of all of one single crystal rod is superfluous, it can consider as the crystal of only the field where the floc does not exist.

[0056] In this way, since the silicon atom between grids contains superfluously the silicon single crystal and silicon single crystal wafer of this invention which are obtained in the whole region, the abnormality precipitation of oxygen resulting from a superfluous atomic hole does not happen, but the precipitation-of-oxygen behavior it is decided only by the initial oxygen density that the amount of precipitation of oxygen by heat treatment will be is shown. Therefore, since the amount of precipitation of oxygen formed by the heat treatment process of a device process by specifying an initial oxygen density can be decided, dispersion in the amount of precipitation of oxygen can be reduced. Moreover, since the wafer with which precipitation of oxygen happens too much is not included, the design of a device thermal process becomes easy.

[0057] In addition, FPD which is the floc of an atomic hole. Since the nucleus of the growth defect of LEP (considered a dislocation loop and its cluster) which is the floc of the silicon atom between grids, and an oxidization induction stacking fault is not included, poor junction leak of a device and the poor proof pressure of an oxide film are reduced. Naturally, since it is easy to control the amount of precipitation of oxygen, too much precipitation of oxygen can be eliminated and it can reduce poor junction leak and the poor oxide-film proof pressure of an oxygen sludge reason.

[0058] in order [by the way,] to dissolve the oxygen sludge near the surface in recent years -- a hydrogen ambient atmosphere -- the crown -- although warm temperature processing may be performed, the thermal stress more than critical shear stress is applied to a wafer, since it is an elevated temperature, a rearrangement called a slip is formed, or the metal contamination from the member in a heat treating furnace takes place, the yield is low and a problem is in productivity. Moreover, depending on elevated-temperature heat treatment in a hydrogen ambient atmosphere, the growth defect FPD (it is also called COP) from a front face to a depth of several microns is only extinguished. And growth defect LEP. In this hydrogen heat treatment, it does not disappear in a surface. therefore, such [the wafer of this invention] a hydrogen ambient atmosphere -- the crown -- it is more nearly quality than the wafer which performed warm temperature processing.

[0059] On the other hand, by this invention, there are comparatively few precipitation-of-oxygen nuclei under raised crystal, and since the precipitation of oxygen by subsequent heat treatment is also controlled, by the in thorin chic gettering method for using an oxygen sludge, it may be thought that it is unsuitable. However, generally the device process in recent years is made clean more by not becoming a problem at all, since the amount of precipitation of oxygen required in a device thermal process can be adjusted by knowing well that heat treatment will be performed by low temperature, such as 650 **, and adjusting the time amount at this time, in order to eliminate the oxygen donor formed during crystal cooling in a wafer making process, and the amount of need precipitation of oxygen is also decreasing. And if it is the wafer of this invention and even the initial oxygen density will be measured since dispersion in the amount of precipitation of oxygen is small in case it decides on the heat treatment time amount of 650 **, it is effective in the ability to set up heat treatment time amount uniquely.

[0060] Temperature gradient G which gives the value which changes with analytical engines by the manufacture approach of the silicon single crystal of this invention. Since it ends even if it does not use, it is similar and general. That is, if decrease a raising rate gradually and a crystal is raised, it pulls up with the

crystal-radius direction location, the defective distribution over a rate is investigated and P_c , P_i , $P_{c,max}$, $P_{c,min}$, $P_{i,max}$, $P_{i,min}$, etc. are calculated, the relative comparison of this can be carried out simply. Also to the raising equipment and the incubation structure in a furnace which are completely designed newly, it pulls up similarly, and a rate is decreased gradually, a crystal is raised, it pulls up with the crystal-radius direction location, the defective distribution over a rate is investigated, and the equipment to manufacture of the silicon single crystal of this invention, adaptation of the incubation structure in a furnace, and nonconformance can be judged by the size of $**P = P_{c,min} - P_{i,max}$. Moreover, as shown in drawing 5, they are $**P = P_{c,min} - P_{i,max}$, and $\eta = (G_s - G_c) / \min$. The relation between $\{G_s, G_c\}$ to $**P$ In order to enlarge, it can judge whether G_c or G_s should be enlarged or it should be made small, and it becomes easy to design more ideal raising equipment and the incubation structure in a furnace.

[0061] Generally, it is the raising rate P in crystal growth. The silicon single crystal of this invention can be manufactured by fixing or making it small gradually between P_c , P_i , or $P_{c,min}$ and $P_{i,max}$ covering a crystal overall length. Since a crystal stops being able to get cold more easily with crystal growth, this is the growth shaft-orientations interface right above temperature gradient G . Parameter P/G in the Voronkov proposal theory of the above-mentioned [become / whether it becomes fixed and / it / relative] It is thought that it is related to becoming almost fixed. Namely, temperature gradient G Since it becomes [whether it is fixed with crystal growth, and], it is the raising rate P . It is thought that it is necessary to carry out whether it fixes with crystal growth gradually.

[0062]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, although an example is given and the gestalt of operation of this invention is explained, this invention is not limited to these.

[0063]

[Example] The example of this invention is explained below. First, drawing 6 explains the example of a configuration of the single crystal raising equipment by the CZ process used by this example. As shown in drawing 6, this single crystal raising equipment 30 The raising room 31, the crucible 32 prepared all over the raising room 31, and the heater 34 arranged around a crucible 32, It has the reel style (not shown) which rotates or rolls round the crucible maintenance shaft 33 made to rotate a crucible 32 and its rolling mechanism (not shown), the seed chuck 6 holding the seed crystal 5 of silicon, the cable 7 that pulls up a seed chuck 6, and a cable 7, and is constituted. A quartz crucible is prepared in the side in which a crucible 32 holds the silicon melt (molten bath) 2 of the inside, and the graphite crucible is prepared in the outside. Moreover, the heat insulator 35 is arranged around [outside] the heater 34.

[0064] Moreover, in order to satisfy the manufacture conditions in connection with the manufacture approach of this invention, the solid-liquid interface heat insulator 8 annular on the periphery of the solid-liquid interface of a crystal is formed in the lower limit section of the rectification cylinder 9. This solid-liquid interface heat insulator 8 forms the 3-10cm clearance 10 between that lower limit and surface of hot water 3 of silicon melt 2, and is installed in it. Moreover, the magnet 36 which impresses a magnetic field to silicon melt and controls the convection current is arranged on the horizontal outside of the raising room 31.

[0065] Equipment like above-mentioned drawing 6 is used, and it is 110kg about a silicon polycrystal raw material to a quartz crucible with a diameter of 22 inches. It was filled up, it energized at the heater made from graphite installed in the outside of a quartz crucible, and the silicon raw material was fused. The distance of the lower limit of the solid-liquid interface heat insulator 8 installed in the silicon melt upper part by the object for radiant heat electric shielding and the object for gas rectification to a crystal and the surface of hot water 3 of silicon melt 2 was set as 5cm.

[0066] And after immersing and familiarizing the tip of the seed crystal 5 of a silicon single crystal with silicon melt, when pulled up seed crystal gradually, the part which stands in a row in seed crystal, and is called the neck section was produced, the diameter was subsequently extended gradually and it became a desired diameter, increase of a diameter was grown up for the stop and the fixed diameter. The diameter of the request at this time was set to 200 mm.

[0067] When it became predetermined body die length, it is the variation gamma of the raising rate per unit length from 0.7 mm/min about a raising rate 0.005 mm/min/cm It carries out and is the raising rate P gradually. It lowered. During crystal training, the quartz crucible was gradually pushed up so that spacing of melt and the solid-liquid interface heat insulator 8 might be kept constant. Moreover, in order to suppress the temperature fluctuation by the melt convection current and to control fluctuation of a raising rate, the level magnetic field of 4000G was impressed during training. the incubation structure in a furnace at this time -- FEMAG the temperature gradient of the melt right above growth shaft orientations searched for from the heat transfer analysis to depend -- a crystal front face -- most -- large -- a crystal center -- most -- small -

- $\eta = (G_s - G_c) / \min \text{ the value of } \{G_s, G_c\} \rightarrow 0.093$ it was .

[0068] It is the sample of thickness 2 mm in a diameter location to after crystal training, a crystal growth shaft, and parallel 2 It ***** (ed). This sample was immersed into the mixed-acid solution which consists of fluoric acid (HF) and a nitric acid (HNO₃), and processing distortion introduced at the time of cutting was removed. And about one sheet, by performing selective etching by SEKOETCHINGU for 30 minutes, the growth defect was made to corrode and the consistency of FPD (floc of an atomic hole) and LEP (floc of the silicon atom between grids) of a growth defect was inspected. About one sheet which remains, they are 800 ** / 4 h + (N₂) 1000 degrees C /, and 16 h (O₂). Precipitation heat treatment was performed. About precipitation heat treatment, although there are various sequences, in order to save the consistency of the precipitation-of-oxygen nucleus contained in a crystal of having grown up and to grow up it, this sequence is most suitable. The life time of a minority carrier was investigated after this precipitation heat treatment, and X-ray topograph photography was performed.

[0069] The defective distribution map for which it asked from the strength of the contrast of the X-ray topograph corresponding to the field of a defect and the height of the amount of precipitation of oxygen is shown in drawing 7 . In drawing 7 , an axis of ordinate expresses the location of crystal growth shaft orientations, and the raising rate corresponding to the location if it puts in another way. An axis of abscissa expresses the radial location of a crystal. Field A is the growth defect FPD. A field and Field B are Ring OSF. For a field and Field C, the field and Field F where, as for the field (this invention quality field) where the field where the amount of precipitation of oxygen is high and Field D are defect-free and, where the amount of precipitation of oxygen is low, and Field E, precipitation of oxygen happens slightly although it is defect-free are the growth defect LEP. It is a field.

[0070] Although the measurement result of life time was also written together in drawing 7 , the life time of Field C is the lowest reflecting existence of the oxygen sludge of high density. On the other hand, life time is the highest reflecting that it is defect-free in Field D, and formation of an oxygen sludge being controlled.

[0071] Although the boundary of this drawing 7 to the field C and Field D, i.e., an atomic hole, is superfluous, it is the growth defect FPD. Pc.min corresponding to the point of appearing latest among the boundaries of the field which is not, and the field which does not have that floc although the silicon atom between grids is superfluous can be found. Moreover, Pi.max corresponding to the point of appearing early most among the boundaries of Field D and Field F, i.e., the boundary equivalent to Field E, can be found. In this case, Pi.max is a value in the crystal center section. In this way, the calculated concrete values were Pc.min = 0.504 mm/min, Pi.max = 0.488 mm/min, and Pc = 0.510 mm/min, respectively.

[0072] Next, Pc.min = 0.504 mm/min obtained in the raising rate in the same raising equipment as the above, and the incubation structure in a furnace in the top Pi.max = 0.488 mm/min The crystal was raised controlling in between. The whole region of the crystal body by which the raising rate was controlled in the made crystal when the growth defect was investigated like the above is a growth defect and Ring OSF. It was defect-free and has checked that it was the field D without a nucleus to which precipitation of oxygen was controlled. The amount of precipitation of oxygen of the sample extracted from this crystal is shown by the black dot of drawing 3 R > 3.

[0073] In addition, this invention is not limited to the above-mentioned operation gestalt. The above-mentioned operation gestalt is instantiation, and no matter it may be what thing which has the same configuration substantially with the technical thought indicated by the claim of this invention, and does the same operation effectiveness so, it is included by the technical range of this invention.

[0074] For example, in the above-mentioned operation gestalt, although the example was given and explained per when a silicon single crystal with a diameter of 8 inches was raised, it cannot be overemphasized that it is what can apply this invention irrespective of the diameter of the crystal to pull up, can apply also in training of the diameter of 6 inches or less, the diameter of 8-16 inches, or the silicon single crystal beyond it, and takes effect.

[0075] Moreover, if control of a raising rate can do this invention, it can apply in any raising equipments and the equipment of the structure in a furnace, and the existence of impression of the magnetic field to silicon melt will not be asked, either. Moreover, the magnetic field impressed when impressing a magnetic field is not restricted to a level magnetic field, and also when impressing the so-called vertical magnetic field, a cusp field, etc., it can be applied. Moreover, it doubles and in order to manufacture the crystal of only the D region which is this invention quality, not only when controlling only a raising rate but is Inclination G whenever [crystal moderate temperature]. Or you may make it control other factors and this invention does not eliminate the case where such control is carried out.

[0076]

[Effect of the Invention] As explained above the silicon single crystal and silicon single crystal wafer of this invention Since the nucleus of the growth defect (the cavity called FPD and COP, a dislocation loop, and its cluster) which is the floc of the point defect formed during crystal cooling, and an oxidation induction stacking fault is not included over the whole region For a poor oxide-film proof pressure and poor junction leak to be reduced in addition, since the whole region has become a silicon overatom between grids and abnormality (high density) precipitation of oxygen does not happen Since a high-density oxygen sludge does not happen while there is no dispersion in the amount of precipitation of oxygen between wafers and the design of a device thermal process becomes easy, the poor junction leak resulting from it does not take place. Therefore, it contributes to improvement in the production yield of the semiconductor device of a high degree of integration. Moreover, by the manufacture approach of the silicon single crystal of this invention, in order that ** may also specify the implementation conditions of the silicon single crystal of this invention only at a raising rate not using the value of the temperature gradient G searched for from simulation, there is [that it is similar and] generality in the manufacture approach of the silicon single crystal of this invention, there is the description that it can use widely, and big contribution is carried out on industrial production.

[Translation done.]

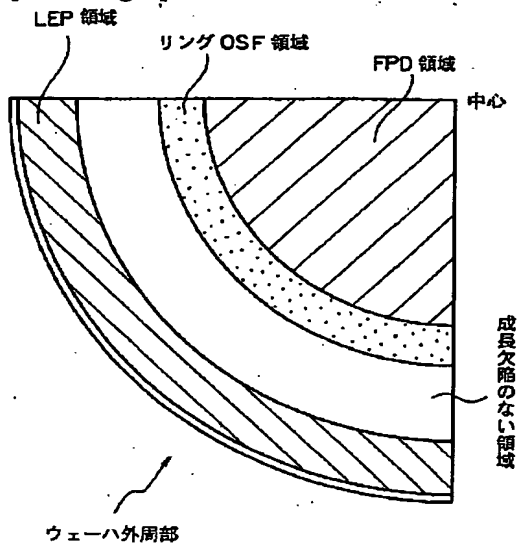
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

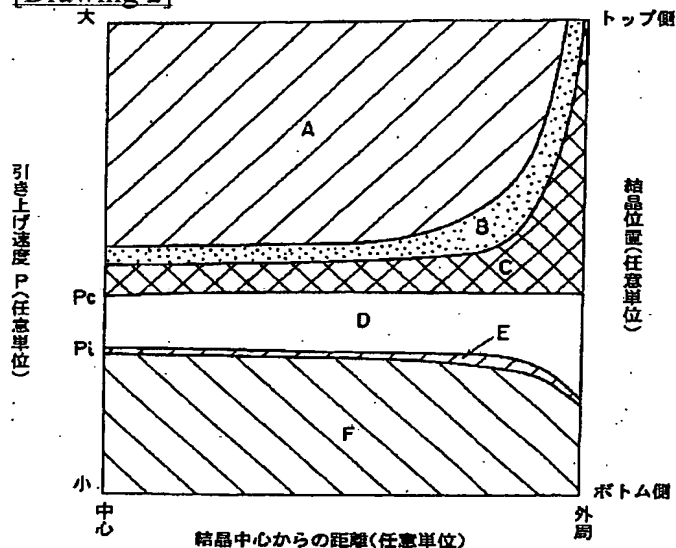
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

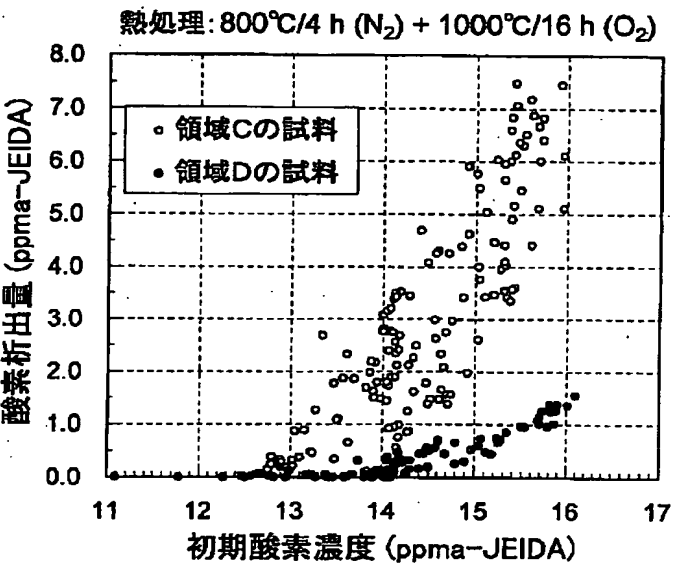
[Drawing 1]



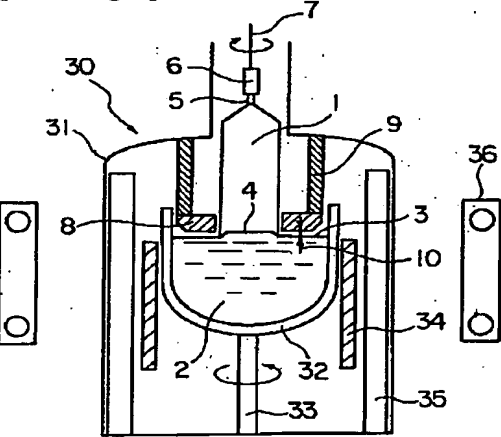
[Drawing 2]



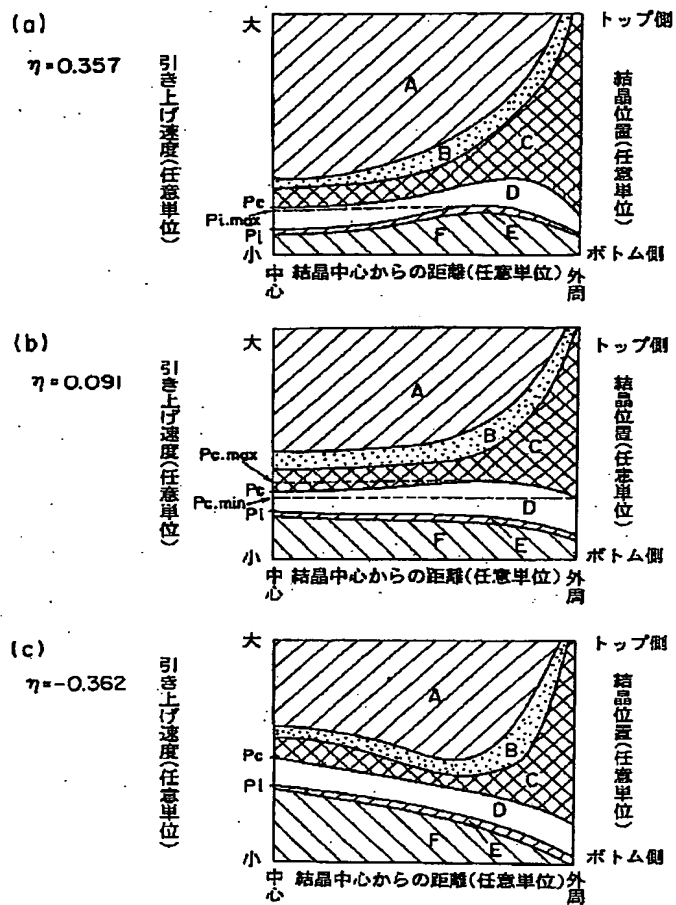
[Drawing 3]



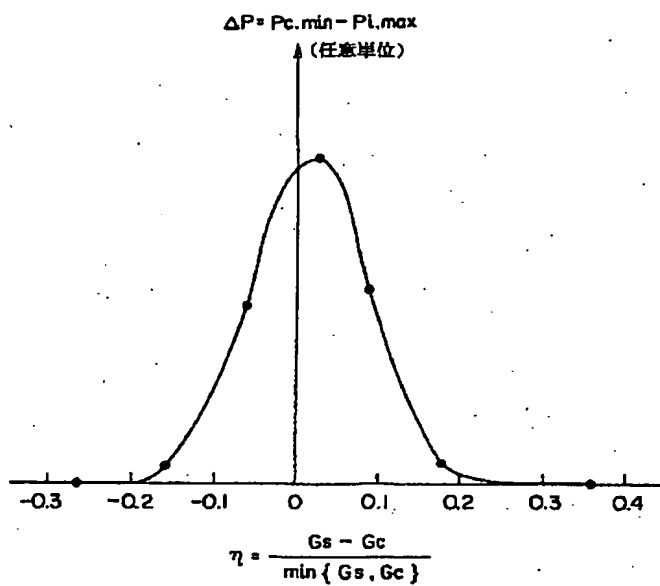
[Drawing 6]



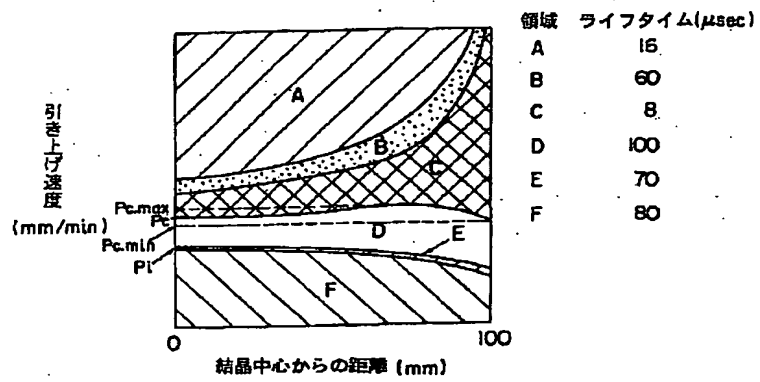
[Drawing 4]



[Drawing 5]



[Drawing 7]



[Translation done.]